



Instituto Politécnico
de Viana do Castelo

Simão Pedro Alves da Silva

Efeito de corretivos orgânicos de resíduos vinícolas e biochar, com
diferentes tempos de compostagem, na cultura de alface

Mestrado em Agricultura Biológica

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professor Doutor Luís Miguel Cortêz Mesquita de Brito

Doutor Rui Manuel Machado Pinto

Agosto de 2019

As doutrinas expressas neste trabalho
são da exclusiva responsabilidade do autor.

ÍNDICE

Índice	i
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract.....	vi
Lista de abreviaturas e símbolos.....	vii
Lista de quadros.....	viii
Lista de figuras	ix
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Corretivos orgânicos	3
1.2.1. Melhoria da fertilidade do solo utilizando corretivos orgânicos.....	3
1.2.2. Importância da compostagem para a produção de corretivos orgânicos.....	3
1.2.3. Estabilização e maturação dos compostados.....	4
1.3. Os resíduos da vinicultura.....	7
1.3.1. Compostagem de lamas e engaços vinícolas.....	7
1.3.2. Estado sanitário dos compostados.....	10
1.3.3. As lamas e engaços vinícolas no contexto agronómico	10
1.4. O biochar.....	11
1.4.1. A influencia do biochar na compostagem	11
1.4.2. Propriedades físico-químicas do biochar	12
1.4.3. Impacto do biochar no solo e nas culturas	13
1.5. A alface	14
1.5.1. Classificação botânica, morfologia e valor alimentar	14
1.5.2. Condições ótimas de solo e clima	14
1.5.3. Instalação da cultura.....	15
1.5.4. Fertilização	15
1.6. Mineralização do azoto	16
1.7. Objetivos do trabalho	17
2. Material e métodos.....	18

2.1. Delineamento experimental	18
2.2. Instalação das experiências na estufa	19
2.2.1. Instalação da cultura da alface	19
2.2.2. Preparação do solo e do compostado	19
2.2.3. Transplantação, rega, controlo de infestantes, temperatura e humidade do ar.	19
2.2.4. Colheita de plantas, solo e compostados para análise	21
2.2.5. Colheita da alface	21
2.3. Trabalho de laboratório	22
2.3.1. Análise das plantas	22
2.3.2. Análise do solo e dos compostados	22
2.4. Análise estatística	23
3. Resultados	24
3.1. Ensaio com os compostados de 6 semanas	24
3.1.1. Características dos compostados e do solo.....	24
3.1.2. Características das plantas de viveiro.....	24
3.1.3. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas de alface	25
3.1.4. Teores e acumulação de nutrientes nas folhas de alface	26
3.1.5. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das raízes	29
3.1.6. Influência dos compostados no peso fresco da alface	30
3.2. Ensaio com os compostados de 12 semanas	31
3.2.1. Características dos compostados e do solo.....	31
3.2.2. Características das plantas de viveiro.....	32
3.2.3. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas	32
3.2.4. Teores e acumulação de nutrientes nas folhas de alface	34
3.2.5. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das raízes	37
3.2.6. Influência dos compostados no peso fresco da alface	38
3.3. Ensaio com os compostados de 18 semanas	39
3.3.1. Características dos compostados e do solo.....	39
3.3.2. Características das plantas de viveiro.....	39
3.3.3. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas	40

3.3.4. Teores e acumulação de nutrientes nas folhas de alface	41
3.3.5. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das raízes	44
3.3.6. Influência dos compostados no peso fresco da alface	45
3.4. Resultados médios do conjunto dos ensaios	45
3.4.1. Características do solo e dos compostados.....	45
3.4.2. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas	48
3.4.3. Teores e acumulação de nutrientes nas folhas de alface	49
3.4.4. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das raízes	52
3.4.5. Influência dos compostados no peso fresco da alface	53
4. Discussão	54
4.1. Características dos compostados e do solo	54
4.2. Efeito das doses crescentes dos compostados no peso fresco da alface	56
4.3. Efeito de doses de corretivos orgânicos na acumulação de nutrientes.....	58
5. Conclusões	61
6. Bibliografia	62

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que me tem proporcionado na vida, em especial a realização deste Mestrado.

Ao professor doutor Luís Miguel Cortêz Mesquita de Brito, meu orientador, pela prontidão, dedicação e apoio prestado.

À Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, e a todos os docentes com especial agradecimento aos docentes do Mestrado de Agricultura Biológica.

Ao doutor Rui Manuel Machado Pinto, orientador externo, pelo fornecimento dos compostados e por todo o apoio prestado.

Ao Engenheiro José Fernando Monteiro Durão e ao Engenheiro Virgílio Miguel Marques Peixoto pela sua ajuda, presença e prontidão demonstradas ao longo de todo o estágio.

A todos os amigos que me ajudaram na realização deste trabalho, bem como a todos que me acompanharam no decorrer do mestrado de Agricultura Biológica.

À minha namorada, Inês Rebelo Romão, pela paciência e ajuda emocional.

Por último e não menos importante, agradeço aos meus pais e irmãos e familiares que me incentivaram ao longo de todo o curso.

RESUMO

Existem diversos resíduos orgânicos produzidos na indústria vinícola que podem ser reutilizados como corretivos orgânicos do solo, caso o seu tratamento seja devidamente realizado, contribuindo, assim, para a economia circular. Nesse sentido, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de compostados produzidos com diferentes proporções, entre lamas das águas residuais da vinicultura e engaços de uva (1:1 e 1:1,5 p:p), em ambos os casos com e sem biochar, e do tempo de compostagem dos mesmos, na cultura de alface em vasos. O peso das folhas e das raízes, e o teor de nutrientes das alfaces, foram avaliados em três experiências que diferiram apenas no tempo de compostagem (6, 12 e 18 semanas) dos compostados utilizados, e que foram constituídas por quatro blocos casualizados com doses crescentes (0, 20 e 40 t ha⁻¹) de cada compostado.

O peso fresco da alface aumentou significativamente com o aumento da dose de compostado, quando se considerou a média de todos os compostados e experiências, provavelmente em consequência da disponibilização de azoto e outros nutrientes dos compostados, para além da possível melhoria da fertilidade física do solo, e diminuiu para os compostados com biochar. No entanto, o mesmo aumento de produção com a dose de compostado não foi evidente para os compostados com biochar ou maior teor de engaços, quando se consideraram apenas os compostados menos maturados (com 6 semanas de compostagem). Recomenda-se, para a horticultura, que a compostagem destes resíduos decorra por um período mínimo de 12 semanas, para garantir que os compostados fiquem relativamente bem estabilizados, sem fitotoxicidade ou capacidade para imobilizar azoto do solo, e que se utilizem mais lamas em peso do que engaços, para aumentar a disponibilidade de nutrientes.

Palavras Chave: Azoto, engaços, fitotoxicidade, lamas, maturação dos compostados.

ABSTRACT

There are several organic residues produced in the wine industry that can be recycled as soil organic amendments, after composting treatment, and so contributing to a circular economy. In this sense, this study aimed to evaluate the effect of composts produced with different proportions, between sludge from viniculture wastewater and grape stalks (1:1 and 1:1.5, w:w), in both cases with and without biochar, and their composting time, in pot lettuces. Leaf and root weight and lettuce nutrient content were evaluated in three experiments that differed only in the composting time (6, 12 and 18 weeks) of the composts and consisted of four randomized blocks with different rates (0, 20 and 40 t ha⁻¹) of each compost.

Fresh lettuce weight increased significantly with increasing compost rate when the average of all compost and experiments was considered, probably as a result of the availability of nitrogen and other compost nutrients, in addition to the possible improvement of soil physical fertility, and decreased for biochar compost. However, the same yield increase with the compost rate was not clear for composts with higher biochar or yeast contents when only the less matured compost (with 6 weeks compost) was considered. It is recommended for horticulture that composting of these winery residues should be carried out for a minimum of 12 weeks to ensure that composts is relatively well stabilized, without phytotoxicity or ability to immobilize soil nitrogen and that more sludge is used by weight than stalks to increase nutrient availability.

Key-words: Compost maturation, grape stalks, nitrogen, phytotoxicity, sludge.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

°C - Graus celsius

C – Carbono

C/N - Razão carbono / azoto

Ca – Cálcio

CE - Condutividade elétrica

CO₂- Dióxido de carbono

dS m⁻¹ - deciSiemens por metro

Fe - Ferro

H - Humidade

ha - Hectares

K - Potássio

kg - Quilogramas

L- Litro

Mg - Magnésio

N - Azoto

NH₄⁺ - Ião amónio

NO₃⁻ - Ião nitrato

O - Oxigénio

P - Fósforo

p:p - Peso por peso

PAHs- Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos

pH - Potencial de hidrogénio

POPs - Poluentes orgânicos persistentes

spp. - espécies

V:V - Volume por volume

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características químicas das lamas e dos engaços	7
Quadro 2 - Características da compostagem do engaço	8
Quadro 3 - Características químicas de lamas e engaços (materiais originais e compostados finais)	9
Quadro 4 - Compostagem de lamas e engaços (v:v)	10
Quadro 5 - Características do Biochar	13
Quadro 6 - Recomendação (kg ha^{-1}) de fertilização de macronutrientes principais para a cultura da alface	16
Quadro 7 - Composição das pilhas de compostagem	18
Quadro 8 - Tratamentos experimentais	18
Quadro 9 - Regas efetuadas para as três plantações	20
Quadro 10 - Características do solo e dos compostados com 6 semanas.	24
Quadro 11 - Peso fresco, peso seco e matéria seca das plantas de viveiro.....	25
Quadro 12 - Teores de nutrientes (g kg^{-1}) nas folhas da alface (compostado com 6 semanas).	27
Quadro 13 - Características do solo e dos compostados com 12 semanas (média \pm desvio padrão).	32
Quadro 14 - Peso fresco, peso seco e matéria seca das plantas de viveiro.....	32
Quadro 15 - Teores de nutrientes (g kg^{-1}) nas folhas da alface (compostado com 12 semanas).	35
Quadro 16 -Características do solo e dos compostados com 18 semanas (média \pm desvio padrão).	39
Quadro 17 - Peso fresco, peso seco e matéria seca das plantas de viveiro.....	39
Quadro 18 - Teores de nutrientes (g kg^{-1}) nas folhas da alface (compostado com 18 semanas).	42
Quadro 19 - Características médias do solo e dos compostados. (média \pm desvio padrão).	46
Quadro 20 - Teores de nutrientes (g kg^{-1}) nas folhas da alface (média dos ensaios).	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dados de temperatura e humidade relativa do ar dos três ensaios.....	20
Figura 2 - Peso fresco e peso seco das folhas de alface (compostado com 6 semanas).	25
Figura 3 - Teor (%) de matéria seca (MS) das folhas de alface (compostado com 6 semanas).	26
Figura 4 - Acumulações de nutrientes (mg planta ⁻¹) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas de alface (compostado com 6 semanas).	28
Figura 5 - Peso fresco e peso seco das raízes da alface (compostado com 6 semanas).	30
Figura 6 - Teor (%) de matéria seca (MS) nas raízes de alface (compostado com 6 semanas)	30
Figura 7 - Comparação do peso fresco das folhas entre os 4 compostados, com e sem biochar e aplicação de 20 e 40 t ha ⁻¹ (compostado com 6 semanas)	31
Figura 8 - Peso fresco e peso seco das folhas de alface (compostado com 12 semanas).	33
Figura 9 - Teor (%) de matéria seca (MS) das folhas de alface (compostado com 12 semanas).	33
Figura 10 - Acumulações de nutrientes (mg planta ⁻¹) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas de alface (compostado com 12 semanas).	36
Figura 11 - Peso fresco e peso seco das raízes da alface (compostado com 12 semanas).	37
Figura 12 - Teor (%) de matéria seca (MS) das raízes de alface (compostado com 12 semanas).	38
Figura 13 - Comparação do peso fresco das folhas entre os 4 compostados, com e sem biochar e aplicação de 20 e 40 t ha ⁻¹ (compostado com 12 semanas).	38
Figura 14 - Peso fresco e peso seco das folhas de alface (compostado com 18 semanas).	40
Figura 15 - Teor (%) de matéria seca (MS) nas folhas de alface (compostado com 18 semanas).	40
Figura 16 - Acumulações de nutrientes (mg planta ⁻¹) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas de alface (compostado com 18 semanas).	43

Figura 17 - Peso fresco e peso seco das raízes da alface (compostado com 18 semanas).	44
Figura 18 - Teor (%) de matéria seca (MS) das raízes de alface (compostado com 18 semanas).	44
Figura 19 - Comparação do peso fresco das folhas entre os 4 compostados, com e sem biochar e aplicação de 20 e 40 t ha ⁻¹ (compostado com 18 semanas).	45
Figura 20 - Evolução do pH, razão C/N e teor de MO (g kg ⁻¹) para os quatro compostados.	47
Figura 21 - Peso fresco e peso seco nas folhas de alface (conjunto dos ensaios). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média.	48
Figura 22 - Teor (%) de matéria seca (MS) das folhas de alface (conjunto dos ensaios).	49
Figura 23 - Acumulações de nutrientes (mg planta ⁻¹) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas de alface (conjunto dos ensaios).	51
Figura 24 - Peso fresco e peso seco das raízes da alface (conjunto dos ensaios).	52
Figura 25 - Teor (%) de matéria seca (MS) das raízes de alface (conjunto dos ensaios).	53
Figura 26 - Comparação do peso fresco das folhas entre os 4 compostados, com e sem biochar e aplicação de 20 e 40 t ha ⁻¹ (conjunto dos ensaios).	53
Figura 27 - Evolução da temperatura da compostagem dos compostados.	56

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A indústria vinícola gera subprodutos ricos em nutrientes que, não sendo aproveitados, representam um fator de poluição para o meio ambiente. Os principais resíduos orgânicos produzidos nas indústrias vinícolas modernas incluem o bagaço de uva, as borras de vinho, os engaços e as lamas resultantes das águas residuais da lavagem dos equipamentos (Ruggieri et al., 2009). A quantidade de resíduos produzidos é em média, 196 L de águas residuais, 0,1 kg de lamas e 1,6 kg de borras de vinho por cada hectolitro de vinho produzido (Da Ros et al., 2017). Com uma visão de economia circular sobre o desenvolvimento sustentável da indústria vinícola, é possível reutilizar a maior parte desses resíduos fechando o ciclo de resíduos-recursos (Oliveira e Duarte, 2016). Contudo devido à grande variabilidade que podem ter os resíduos vinícolas, estes devem ser completamente caracterizados antes de seu possível uso ou tratamento (Bustamante et al., 2008a).

Os diferentes subprodutos da indústria vinícola possuem características distintas. Por exemplo, entre os engaços e as lamas frescas (sem qualquer tratamento) existe uma grande diferença na razão carbono/azoto (C/N), sendo mais elevada nos engaços, pois a quantidade de azoto das lamas é superior, e nesse sentido o poder fertilizante das lamas é teoricamente superior (Paradelo et al., 2013).

O biochar é um tipo de matéria orgânica produzida pela combustão de biomassa que é obtido, por exemplo, a partir de matéria vegetal, estrume ou resíduos orgânicos. A sua obtenção é lenta e consiste na interrupção do processo de incineração quando o material atinge o estado de carvão, antes da transformação do material em cinza. O biochar é utilizado como um aditivo para melhorar as características do solo, contribuindo para reter carbono e outros nutrientes. O biochar é diferente do carvão comum, que é usado principalmente como combustível (Harmon, 2015).

Os compostados são uma das principais fontes de fertilização para a agricultura biológica. Desempenham um papel importante na fertilização do solo e na sua resiliência, fornecendo tanto as fontes de energia para os microrganismos do solo como os nutrientes para sustentar a produção agrícola e a biodiversidade do solo (Van der Wurff et al., 2016). Contudo, devido à elevada variedade de compostados existentes é necessário entender o seu efeito nas culturas para desse modo melhorar a sua recomendação como fertilizantes.

As características dos compostados variam consoante os materiais originais utilizados e o processo de compostagem. Assim, existem compostados com características muito diferentes e com teores de nutriente muito variáveis. Por exemplo, podem possuir teores de azoto que podem variar entre menos de 0,5% a mais de 3% na matéria seca. Nesse sentido, e sendo o azoto o elemento mais importante da fertilização, geralmente, apenas os compostados com mais de 1% de azoto na matéria seca é que são utilizados como fertilizantes (Barker, 1997).

É impossível utilizar um único método para avaliar eficazmente o efeito fertilizante do compostado, pelo que deverá existir uma combinação de métodos. Os métodos para avaliar o efeito fertilizante do compostado podem ser categorizados em análises químicas (razão C/N, capacidade de troca de catiónica, pH, teor de N mineral, etc.), análises físicas (teor de humidade, odor, temperatura) e bioensaio com plantas (germinação, emergência e crescimento de plantas). De todos os testes de avaliação do efeito fertilizante dos compostados os bioensaio com plantas são considerados os testes mais diretos para avaliar a qualidade do composto, uma vez que mostram o efeito direto do composto no crescimento da planta (Chukwujindu et al., 2006).

Considerando que a disponibilidade do azoto é geralmente superior nos compostados frescos, seria expectável que as plantas possuíssem melhores desempenhos quando são utilizados compostados não maturados. No entanto, verifica-se que normalmente as plantas registam melhores crescimentos quando são aplicados compostados maturados (Grigatti et al., 2011). Isto acontece porque os compostados não maturados podem causar fitotoxicidade (causada por excesso de amónia, ácidos gordos voláteis, ou outras substâncias como o etileno) ou devido à imobilização do azoto do solo causada pelos microrganismos ao atacarem o carbono pouco estabilizado dos compostados frescos (Brinton e Evans, 2002).

Os compostados de resíduos vinícolas com e sem biochar devem ser avaliados antes da sua possível aplicação. Neste sentido são necessários estudos para caracterizar este tipo de compostados e, por conseguinte, entender qual o comportamento dos mesmos no solo e as consequências da sua utilização para a produção vegetal. É neste enquadramento que se insere o presente trabalho.

1.2. Corretivos orgânicos

1.2.1. Melhoria da fertilidade do solo utilizando corretivos orgânicos

Os corretivos orgânicos podem ser de origem vegetal e animal ou mistura das duas, e são utilizados principalmente com o objetivo de aumentar o nível de matéria orgânica do solo. A maioria dos estrumes, dos compostados e das lamas de depuração, são corretivos orgânicos. Os corretivos orgânicos veiculam maiores ou menores quantidades de nutrientes que progressivamente se disponibilizam para as plantas (MADRP, 1997). Por outro lado, devido ao elevado teor de matéria orgânica que normalmente possuem, podem contribuir para a melhoria das características físicas do solo, como a sua agregação ou capacidade de retenção da água, diminuindo a erosão do solo ou a facilidade com que este pode ser trabalhado. Existem vários resíduos que podem ser utilizados como corretivos orgânicos nos solos, ajudando a manter e melhorar a fertilidade dos solos (Luís, 2016).

O sector vinícola, em Portugal, é responsável anualmente pela produção de vários resíduos dos quais, cerca de sete milhões de toneladas são subprodutos como o bagaço, as borras, as grainhas e o engaço (Marçal, 2014). Estes materiais, caso sejam mal geridos, podem tornar-se um grave problema e simultaneamente um desperdício devido às suas características físicas e químicas suscetíveis de serem aproveitadas para outros fins (Marçal, 2014). Caso sejam bem geridos podem ser fonte de nutrientes, bem como responsáveis pela restituição da matéria orgânica ao solo (Bertran et al., 2004).

1.2.2. Importância da compostagem para a produção de corretivos orgânicos

A compostagem consiste no tratamento biológico dos resíduos orgânicos, através do qual o material orgânico é transformado em composto utilizável para a produção vegetal. Ao longo dessa transformação, pela ação de microrganismos, o material original torna-se estabilizado e utilizável na preparação de corretivos orgânicos do solo. O objetivo da compostagem é converter o material orgânico que não está em condições para ser incorporado no solo num material que é admissível para misturar com o solo. A compostagem pode destruir a viabilidade das sementes de infestantes e os microrganismos patogénicos (Brito, 2006).

A compostagem de resíduos vinícolas é importante para obtenção de um produto orgânico com menor impacto ecotoxicológico e com um valor comercial acrescido, quer

como corretivo orgânico do solo, quer como constituinte de suportes de culturas para utilização em viveiro (Fernandes et al., 2005).

1.2.3. Estabilização e maturação dos compostados

Estabilização e maturação são termos frequentemente usados para caracterizar o compostado que possuem significados distintos (Gaind., 2016). A maturação do compostado poderá ser considerada um dos critérios de qualidade, principalmente quando o compostado se destina à utilização imediata como corretivo orgânico do solo ou à sua utilização na formulação de substratos hortícolas. A maturação do compostado está associada à sua estabilização, que se refere à atividade microbiana e que é tanto menor quanto mais estável for o carbono do compostado, ou seja, quanto menos carbono possua em formas facilmente atacáveis pelos microrganismos. Isto é, durante a compostagem as moléculas orgânicas mais facilmente biodegradáveis são mineralizadas enquanto outras são utilizadas para a constituição de moléculas húmicas de difícil biodegradação. E assim, o compostado fica cada vez mais estabilizado. Contudo, a maturação do compostado refere-se não só ao seu grau de estabilização, mas também, à presença de substâncias fitotóxicas que podem surgir em condições de rápida decomposição da MO no compostado, e que pode variar em função do destino do mesmo. Em algumas circunstâncias poderão ser necessários compostados muito maturados e homogêneos, como por exemplo para utilizar na formulação de substratos hortícolas, enquanto para utilização como corretivos do solo, poderão considerar-se compostados menos maturados, desde que aplicados com antecedência em relação à sementeira ou plantação (Brito, 2017), porque as moléculas mais facilmente biodegradáveis que ainda possuem serão mineralizadas pelos microrganismos do solo.

Durante o processo de compostagem verifica-se que a maior concentração N amoniacal ($N-NH_4^+$) ocorre durante as primeiras semanas de compostagem, coincidindo com o período mais intenso de degradação da MO. A maior concentração de azoto nítrico ($N-NO_3^-$) regista-se no final da maturação, com a ocorrência do processo de nitrificação. Durante a compostagem existem perdas de azoto que estão diretamente relacionadas com materiais utilizados e os valores de pH dos compostados (Sánchez-Monedero et al., 2001) já que, elevados valores de pH, contribuem para a conversão do ião amónio (NH_4^+) em amoníaco (NH_3), que no estado gasoso e com elevadas temperaturas se volatiliza para a atmosfera.

1.2.3.1. Fatores que afetam a compostagem

Para que a compostagem ocorra como desejável é necessário que sejam estabelecidas e mantidas as condições benéficas ao bom desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Entre essas condições, destaca-se uma boa mistura de materiais de que resulte uma razão C/N adequada para os microrganismos, teores de humidade e de oxigénio favoráveis à atividade dos microrganismos, e uma dimensão das partículas e das pilhas de compostagem que permita que não se promovam zonas de anaerobiose no interior da massa em compostagem. Destas condições resulta a facilidade e velocidade com que os microrganismos poderão atuar e conseqüentemente a temperatura que o material em compostagem poderá alcançar. Sendo que se torna necessário alcançar temperaturas termófilas durante um período de tempo suficiente para eliminar os microrganismos patogénicos e as sementes viáveis de infestantes (Brito, 2017).

A mistura dos materiais orgânicos deve ser adequada, e capaz de fornecer os nutrientes necessários ao crescimento e atividade microbiana. A razão C/N que a mistura apresenta é fulcral para avaliar a maturação do compostado. No início do processo, a razão C/N da mistura deverá situar-se entre 25 a 35. Durante o processo, esta razão vai diminuindo, em consequência da oxidação da matéria orgânica com a libertação de CO₂, até atingir valores da ordem dos 10/1 a 20/1 (Sempiterno, 2016).

O teor máximo de humidade durante a compostagem deve ser mantido num nível que permita que todo o processo de compostagem seja aeróbio. O teor ideal de humidade da pilha de compostagem pode variar de acordo com os materiais da pilha, porém geralmente aceita-se que o teor ótimo de humidade varie de 50 e 60% em peso. Um teor de humidade muito baixo, inibe a atividade dos microrganismos, proporcionando uma compostagem mais lenta. Contudo se este for elevado a compostagem pode ocorrer em condições anaeróbias (Chen et al., 2009).

A compostagem aeróbia requer grandes quantidades de oxigénio, particularmente na fase inicial. Muitas vezes é indispensável arejar a pilha para que a compostagem ocorra em condições aeróbias, pois quando a quantidade de oxigénio não é suficiente, o crescimento de microrganismos aeróbios é limitado, o que resultará numa decomposição mais lenta. A quantidade de oxigénio pode ser controlada pelo tamanho das partículas dos materiais originais, através do teor de humidade, bem como pelo tamanho e arejamento da pilha (Misra et al., 2003).

A dimensão das partículas dos materiais deve ser ponderada pois afeta a densidade, a porosidade, a capacidade de retenção de água e outras características dos materiais em compostagem, sendo a microporosidade responsável pela retenção e disponibilidade de água e a macroporosidade pela capacidade de arejamento do compostado. No material original as partículas devem ter entre 1 e 8 cm. Quanto mais maturado estiver o compostado menores serão as partículas e para uso em horticultura, as partículas devem ter menos 2 cm de diâmetro (Brito, 2017).

O pH do composto pode ser indicativo do estado de compostagem dos resíduos orgânicos. Durante as primeiras horas de compostagem, o pH decresce até valores de, aproximadamente 5, posteriormente, aumenta gradualmente com a evolução do processo de compostagem, a produção de amoníaco e a estabilização do composto, alcançando, finalmente, valores entre 7 e 8. Assim, valores baixos de pH são indicativos de falta de maturação devido à curta duração do processo ou à ocorrência de processos anaeróbios no interior da pilha de compostagem (Brito, 2006).

O processo de compostagem pode ser dividido em três fases considerando a temperatura da pilha de compostagem. A primeira é a fase mesófila (temperaturas até 40-55 °C), a segunda é a fase termófila (temperaturas compreendidas entre 55 a 70 °C, e mais rápida decomposição dos materiais) e por fim uma nova fase mesófila, de arrefecimento (temperaturas tendem a baixar para valores próximos da temperatura ambiente). No final destas três fases decorre ainda um período de maturação dos materiais (Shukla, 2016). Os microrganismos patogénicos e as sementes infestantes são normalmente destruídos acima de 55 °C (Misra et al., 2003).

1.2.3.2. Impacto dos corretivos não maturados nas plantas e no solo

Quando se aplica um composto fresco ao solo inicia-se o processo imobilização do azoto realizado pelos decompositores, assim sendo, o azoto mineral do solo pode tornar-se indisponível para as plantas por ser intensamente utilizado para o crescimento dos microrganismos do solo (Brito, 2017). Devido a essa atividade microbiana, para além da imobilização do azoto existe consumo de oxigénio do solo circundante, bem como produção de substâncias fitotóxicas para as plantas (Jenkins, 2005; Radovich e Arancon, 2011).

O composto fresco possui frequentemente um valor elevado de condutividade elétrica (3 a 4 dS m⁻¹), dependendo da salinidade dos materiais originais, podendo ser maior em compostados frescos derivados de dejetos animais, e com um pH frequentemente superior nos compostados frescos. Quando aplicado ao solo, provoca fitotoxicidade, que juntamente com elevados teores de amónia e etileno podem prejudicar as raízes das plantas (Radovich e Arancon, 2011; Gaind, 2016). O composto deve ainda ser testado antes da sua aplicação ao solo, pois pode causar danos na germinação das plantas e nas raízes jovens o que levará a perdas na colheita (Gaind, 2016).

1.3. Os resíduos da vinicultura

1.3.1. Compostagem de lamas e engaços vinícolas

Os engaços e as lamas provenientes do tratamento das águas residuais da vinicultura possuem características diferentes (Quadro 1). As lamas possuem sempre uma maior quantidade de azoto, possuindo assim uma razão C/N mais baixa (Bertran et al., 2004 e Paradelo et al., 2013) , contudo os outros valores são muito variáveis.

Quadro 1 - Características químicas das lamas e dos engaços

	Paradelo et al. (2013)		Bertran et al. (2004)		Fernández et al. (2010)	
	Engaços	Lamas	Engaços	Lamas	Engaços	Lamas
H (%)	72,2	75,5	20-70	81,6	43,1	82,1
pH	4,3	3,5	9,58	8,3	7,1	8,5
CE (dS m ⁻¹)	1,4	3,5	1,4	2,1	1,8	0,6
MO (g kg ⁻¹)	919	884				
C (g kg ⁻¹)	533	513				
N (g kg ⁻¹)	18	26	11	34		
C/N	30	20	38,6	5,4	53	8,2
N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	0	0				
N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	91	292				
P (g kg ⁻¹)			1	10		
K (g kg ⁻¹)			42	6		

O composto obtido a partir de engaço apresenta um elevado valor agronómico, quando estável e higienizado (Ruggieri et al., 2009). Algumas das características do engaço no início e no final da compostagem estão descritas no Quadro 2.

Quadro 2 - Características da compostagem do engaço

	H (%)	MO (g kg ⁻¹ MS)	pH
Início da compostagem	75,0±0,2	915±3	5,0±0,1
Fim da compostagem	64,9±0,2	631±3	9,4±0,1

Adaptado de Ruggieri et al. (2009)

Com finalidade de entender o processo de compostagem de lamas e engaços vinícolas, Paradelo et al. (2013) compararam duas pilhas de compostagem, sendo que numa apenas colocaram engaços e na outra engaços e lamas na proporção de 1:1 em volume (Paradelo et al., 2013). O pH da mistura de lamas e engaços era ácido no início da compostagem enquanto o dos engaços era quase neutro. Contudo, no final da compostagem (ao fim de 150 dias) ambas as pilhas possuíam pH semelhante (6,9 para o engaço e 7,0 para as lamas e engaços). Relativamente aos outros indicadores, verificaram que a pilha onde se utilizaram lamas e engaços possuía maior condutividade elétrica, mas menores percentagens de matéria orgânica e de carbono bem como menor razão carbono azoto. Relativamente à quantidade de azoto, a pilha que continha lamas possuía sempre valores superiores ao longo de todo o processo, sendo que no início os valores eram de 18 g kg⁻¹ e 20 g kg⁻¹ e no final 19 g kg⁻¹ e 23 g kg⁻¹, para os engaços e para a mistura de lamas com engaços, respetivamente (Paradelo et al., 2013).

As características químicas dos compostados sofrem grandes alterações durante o processo de compostagem, como por exemplo o pH tem tendência para aumentar gradualmente enquanto o azoto tende a manter-se durante o processo (Quadro 3) assim o tempo de compostagem é um fator crucial para obtenção dos compostados. A compostagem de lamas e engaços de uvas brancas e uvas tintas não possuem grandes diferenças conforme se pode verificar no Quadro 3 (Ferrari et al., 2019).

A compostagem realizada com a mistura de hastes de uva (engaço da uva obtido de operações de decapagem) e bagaço de uva foi realizada por diversos autores (Fernández et al., 2010 e Ferrari et al., 2019). No final da compostagem, Fernández et al. (2010), verificaram que a razão C/N foi próxima de 30, contudo esta deveria estar compreendida entre 10 e 20 (Sempiterno, 2016), tal facto pode ser justificado pela elevada razão C/N

inicial desta mistura (C/N = 56). Estes autores destacaram ainda que a razão $N-NH_4^+ / N-NO_3^-$ foi inferior no final da compostagem, contudo muito levada (4,51) (Fernández et al., 2010). Um indicador de maturação é quando esta razão ($N-NH_4^+ / N-NO_3^-$) é inferior a 0,5 de (CCQC, 2001)

Quadro 3 - Características químicas de lamas e engaços (materiais originais e compostados finais)

	Lamas misturadas com engaços das uvas bancas	Lamas misturadas com engaços das uvas tintas	Mistura de uvas 1 ano de compostagem	Mistura de uvas 3 anos de compostagem
pH	4,21	4,15	6,1	8,2
C (g kg ⁻¹)	470,30	474,10	415,00	404,00
N (g kg ⁻¹)	27,60	27,90	27,90	25,10
P (g kg ⁻¹)	3,90	3,50	3,10	1,80
K (g kg ⁻¹)	33,90	26,30	29,80	23,20
Ca (g kg ⁻¹)	4,70	3,20	4,30	7,20
Mg (g kg ⁻¹)	1,70	1,50	2,20	2,50
Fe (g kg ⁻¹)	2,70	2,30	3,40	4,10

Adaptado Ferrari et al., (2019)

Bertran et al. (2004) avaliaram a compostagem de lamas e engaços em duas proporções, designadamente 1:1 (v:v) e 1:2 (v:v). Para a primeira proporção (1:1) não fizeram a moagem dos engaços, contudo na segunda (1:2), como a quantidade de engaços era bastante superior, realizaram a moagem antes de misturarem com as lamas. Os resultados analíticos das duas experiências encontram-se no Quadro 4. Contudo, apenas apresentaram os teores de P, K, Ca, Mg e Fe para a razão de 1:2 pois foi considerada pelos autores a melhor razão de lamas/ engaços, visto que foi a única a garantir que as pilhas atingissem temperaturas mais altas mais rapidamente (Bertran et al., 2004).

Quadro 4 - Compostagem de lamas e engaços (v:v)

	Compostagem com proporção de 1:1		Compostagem com proporção de 1:2	
	Início	Fim	Início	Fim
H (%)	80	54	74	66
pH	8,5	7,5	9,1	8,3
CE (dS m ⁻¹)	1,5	32,6	1,194	1,585
N (g kg ⁻¹)	33	22	22,3	22,9
Sólidos voláteis (VS (%))	55	51	67,5	54,5
C:N	8,3	11,4	15,1	11,9
P (g kg ⁻¹)				4
K (g kg ⁻¹)				13
Ca (g kg ⁻¹)				143
Mg (g kg ⁻¹)				3
Fe (g kg ⁻¹)				5

Adaptado de Bertran et al. (2004).

1.3.2. Estado sanitário dos compostados

Durante a compostagem é fundamental eliminar os microrganismos patogénicos. Na compostagem de resíduos vinícolas é necessário eliminar clostridio sulfito-redutores, *enterococos* e *Salmonella* (Bustamante et al., 2008b), contudo a ocorrência de temperaturas elevadas durante o processo de compostagem nem sempre garante uma completa higienização do produto final. Portanto, para garantir a eficácia do processo de compostagem e produzir um compostado higienizado é necessário proceder a todas as operações necessárias (revolvimento da pilha, rega e entre outras) para que todo o material fique sujeito a temperaturas elevadas (>55 °C) por um período de tempo suficiente para eliminar os microrganismos patogénicos (Bustamante et al., 2008b).

1.3.3. As lamas e engaços vinícolas no contexto agronómico

A distribuição de resíduos e efluentes vinícolas no solo (quando submetidos a tratamento) poderá ser uma solução simples e viável e contribuir para a economia circular. (Pirra, 2009 e Ferrari et al., 2019). Contudo, para que se garanta que este método é sustentável (ambientalmente e economicamente) é necessário que o tratamento dos

materiais originais seja realizado de forma correta, tendo em consideração vários fatores como o por exemplo o equilíbrio do solo (Ozores-Hampton, 2006).

Caso o compostado não esteja maturado pode causar efeitos prejudiciais no crescimento das culturas devido à presença de compostos fitotóxicos (Ozores-Hampton, 2006) e se não estiver higienizado pode ser prejudicial para o operador devido à presença de microrganismos como *clostridium* sulfito-redutores, enterobactérias, coliformes fecais (*Escherichia coli*), enterococos, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella* spp. (Bustamante et al., 2008b).

Os efluentes vinícolas contêm grandes quantidades de compostos fitotóxicos, por isso, as lamas que resultam destes efluentes podem ser prejudiciais se não forem tratadas. Com a compostagem, é possível e poderá ser seguro utilizar essas lamas para fins agrícolas (Bustamante et al., 2008b). Nesse sentido um compostado resultante da mistura de engaço e lamas pode ser utilizado como fertilizante porque tem um elevado valor agronómico e é particularmente adequado para os solos que possuem um teor muito baixo de matéria orgânica (Bertran et al., 2004). Importa ainda entender a dinâmica do compostado no solo, sendo a mineralização da matéria orgânica um dos indicadores relevantes do estado em que se encontra o compostado (Kutu e Masowa, 2018).

1.4. O biochar

1.4.1. A influencia do biochar na compostagem

A utilização de biochar na mistura de matérias para compostagem poderá ter vários efeitos positivos como a melhoria das características físico-químicas da mistura, redução da produção e emissão de gases de efeito de estufa durante a compostagem, bem como redução da emissão de amónia, aumento da atividade microbiana e promoção da decomposição da matéria orgânica, promovendo a qualidade dos compostados, aumentando a disponibilidade de nutrientes e diminuindo a fitotoxicidade dos compostados (Chen et al., 2017 e Xiao et al., 2017).

A mistura biochar na compostagem parece ser benéfica para a nutrição das plantas bem como para o sequestro de carbono (Oldfield et al., 2018), isto porque o biochar ajuda a aumentar a retenção de nutrientes, bem como o conteúdo de água e o teor total de carbono orgânico no composto maturado, devido à sua composição, elevada porosidade e capacidade de adsorção. (Wu et al., 2017 e Hagemann et al. 2018). Contudo, a resposta

das plantas ao compostado com biochar quando comparado com o compostado sem biochar varia de acordo com as características do biochar, tipo de solo e espécies de plantas, podendo não serem registadas produções superiores, ou mesmo, ocorrerem decréscimos de produção. (Van Zwieten et al., 2010).

O biochar é um material muito rico em carbono, sendo a sua razão C/N muito variável de acordo com o processo de obtenção, podendo variar de 70 a 364 dependendo sobretudo da temperatura de obtenção (quanto mais elevada menor a razão C/N) (Da Ros, et al., 2017 e Palviainen et al., 2018), nesse sentido quando adicionado à pilha de compostagem aumenta o teor de carbono da mesma, tanto na fase inicial (quando se constrói a pilha) como no final da compostagem (quando o compostado está pronto a ser utilizado) (Kopeć et al., 2017).

A adição de biochar na compostagem poderá promover uma maior temperatura da pilha e pode reduzir a perda de azoto, transformando amónio em nitrato. (Liu et al., 2017 e Hagemann et al., 2018). Porém nem sempre a adição de biochar implica um acréscimo de temperatura durante o processo de compostagem (Kopeć et al., 2017 e Pinto et al., 2018).

O biochar altera ainda a densidade da pilha de compostagem reduzindo-a, pois tem baixa densidade devido à grande superfície específica que possui. O acréscimo de biochar promove, assim, uma melhor oxigenação da pilha evitando a formação de espaços anaeróbios (Hagemann et al., 2018).

1.4.2. Propriedades físico-químicas do biochar

O biochar é muito pobre em azoto, fósforo e potássio, por isso o seu valor como fertilizante para a produção vegetal é residual. Quanto a outras características (pH, condutividade elétrica (CE), teor de matéria seca (MS), teor de carbono, razão C/N, e teor de matéria orgânica (MO) verifica-se que existe muita variabilidade de resultados pois os materiais de obtenção de biochar são diferentes bem como as temperaturas de fabrico (Quadro 5).

Quadro 5 - Características do Biochar

Característica	Yargicoglu et al. (2015)		Wei et al. (2014)	Mimmo et al. (2014)	
	Min	Max		Min	Max
pH	6,24	8,86		6,90	9,25
CE (dS m ⁻¹)	0,007	4,15			
MS (%)	33,8	99,67	98,57		
N (g kg ⁻¹)	0,1	4	7,8	3	6,4
P (g kg ⁻¹)			5,1		
K (g kg ⁻¹)			5,3		
C (g kg ⁻¹)	235	781		509,5	726,1
C/N	143,4	5513,9	49,7		
MO (g kg ⁻¹)	323	975	659		

1.4.3. Impacto do biochar no solo e nas culturas

O biochar aparenta ser um material valioso na compostagem e a sua adição ao solo é positiva a curto prazo, contudo ainda pouco se sabe sobre e seus efeitos no longo prazo para o solo e o meio ambiente (Wu et al., 2017). O biochar pode libertar contaminantes orgânicos e inorgânicos, como fenol, PAHs, POPs, dioxinas, furanos e metais pesados, alterando a produtividade das culturas e a vida do solo (Qadeer et al., 2017). Em certas circunstâncias, o biochar também é responsável pela emissão de CO₂ do solo. No entanto, o efeito do biochar no solo varia muito, dependendo das condições ecológicas (Qadeer et al., 2017).

A utilização de biochar na cultura da alface não afeta o crescimento nem a saúde da cultura (Wei et al., 2014 e De Tender et al., 2016). Contudo quando combinado com outros materiais (num processo de compostagem) afeta positivamente o crescimento das culturas arvenses e hortícolas, podendo ainda ser uma alternativa viável para remediar o solo degradado e melhorar a sua produtividade potencial a longo prazo (Agegnehu et al., 2017).

1.5. A alface

1.5.1. Classificação botânica, morfologia e valor alimentar

A alface é uma planta hortícola de folhas que pertence à família Asteraceae. A alface é conhecida pelo nome botânico *Lactuca sativa* L. É tipicamente cultivada para se utilizarem as suas folhas na alimentação, designadamente como ingrediente básico em saladas. As sementes oleaginosas da planta também têm usos culinários e não culinários (Greene, 2017).

A alface é uma espécie anual com ciclo cultural curto, dependendo de fatores como a cultivar, a região e a época de produção. O ciclo vegetativo da alface compreende 5 períodos, sendo eles a germinação e emergência, formação da roseta de folhas, crescimento vegetativo ou fase de formação de repolho, espigamento e floração e maturação dos aquénios. No entanto o ciclo cultural termina (quando destinada a consumo) no período inicial da formação de repolho. Este ciclo tem a duração de 6 a 8 semanas na época de Primavera-Verão e 10 a 12 semanas durante o período Outono-Inverno (Almeida, 2006).

1.5.2. Condições ótimas de solo e clima

A cultura da alface adapta-se a uma ampla gama de climas, embora prefira climas temperados e húmidos. Esta preferência permite que as diversas variedades de alface se adaptem facilmente às condições climáticas de Portugal, em qualquer época do ano (Maroto, 2002). As temperaturas médias ideais para a maioria das cultivares de alface variam entre os 15 e os 20 °C. Temperaturas médias inferiores a 7 °C afetam negativamente o seu crescimento foliar, e temperaturas muito elevadas promovem o aparecimento de repolhos frouxos e a diferenciação floral, prejudicando a qualidade da alface (Lopes e Simões, 2006). Casos extremos de temperatura, superiores a 33 °C, tornam as folhas de alface amargas. A temperatura do solo nunca deve ser inferior a 6 °C. O valor ótimo de humidade relativa varia de 60 a 80% (Cermeño, 1988). As alfaces podem ser cultivadas com sucesso em qualquer tipo de solo, embora exista uma preferência por solos bem drenados e ricos em matéria orgânica, o que poderá justificar-se pelo facto de a cultura possuir um fraco desenvolvimento do sistema radicular e um rápido crescimento vegetativo, tendo necessidade de nutrientes facilmente disponíveis (Maroto, 2002 e Almeida, 2006). A alface é ligeiramente tolerante à acidez do solo,

desenvolvendo-se melhor em solos com pH entre 6,5 e 7 (Disqual, 2003). A alface é uma cultura sensível à salinidade do solo, sendo o seu crescimento fortemente prejudicado em solos com uma condutividade elétrica superior a 3 dS m⁻¹ (Quelhas dos Santos, 1996).

1.5.3. Instalação da cultura

A cultura da alface pode instalar-se por sementeira direta ou por transplantação. Quando se realiza transplantação as plantas devem ter entre 4 e 6 semanas após a sementeira. A profundidade correta consiste num pequeno orifício (da profundidade do torrão) que deve ser feito no solo antes da transplantação. Se a inserção do torrão no solo for realizada sem um orifício previamente preparado, o sistema radicular será danificado e a planta sofrerá, resultando num decréscimo de produção. A partir do momento em que é colocado o torrão, deve aconchegar-se o solo para que se estabeleça o contacto suficiente entre o torrão da planta e o solo (Starkeayres, 2014).

A densidade de plantação deverá respeitar dois fatores que são a época do ano em que as inserimos e as exigências do mercado. Os compassos mais estreitos (25-30 cm entre plantas) são utilizados para cultivares de crescimento mais reduzido e durante a Primavera-Verão, quando não existem problemas de falta de luz e humidade excessiva. Os compassos mais largos (35-40 cm entre plantas) devem ser utilizados para cultivares de maior desenvolvimento e durante o Outono-Inverno, para que se consiga um melhor arejamento, com a consequente melhoria do estado sanitário (Almeida, 2006).

1.5.4. Fertilização

A cultura da alface não é muito exigente em nutrientes, porém é bastante sensível à escassez de nutrientes facilmente disponíveis no solo. Nalgumas variedades de alface o azoto em excesso é prejudicial à produção dificultando a formação do repolho (Ripado, 1993). A recomendação de fertilização varia em função da produção esperadas, de acordo com o Quadro 6.

Quadro 6 - Recomendação (kg ha⁻¹) de fertilização de macronutrientes principais para a cultura da alface

Produção esperada (t ha ⁻¹)	Azoto (N) (kg ha ⁻¹)	Fósforo (P ₂ O ₅) - níveis no solo (mg kg ⁻¹)					Potássio (K ₂ O) - níveis no solo (mg kg ⁻¹)				
		<25	26-50	51-100	101-200	>200	<25	26-50	51-100	101-200	>200
25	80	160	120	80	60	40	160	120	80	60	40
30	115	160	120	80	60	40	160	120	80	60	40
40	130	160	120	80	60	40	160	120	80	60	40
50	150	160	120	80	60	40	160	120	80	60	40

Fonte: MADRP/INIAP (2005)

1.6. Mineralização do azoto

O azoto pode ser encontrado em formas orgânicas e inorgânicas. O N inorgânico, encontra-se principalmente sobre as formas de ião amónio (NH₄⁺) e ião nitrato (NO₃⁻), e está disponível para as plantas. O processo de mineralização do azoto orgânico requer a presença de micróbios no solo, sendo o azoto mineral um subproduto da decomposição e mineralização da matéria orgânica. A taxa de mineralização é a taxa a que o N orgânico é convertido em N mineral, ficando assim disponível para a planta (Crohn, 2004). Para que ocorra a mineralização são necessárias duas reações, a aminação e a amonificação, ambas as reações são realizadas por microrganismos heterotróficos (Power e Prasad, 1997). Posteriormente o azoto amoniacal pode ser nitrificado formando-se o azoto nítrico.

A concentração de ião amónio (NH₄⁺) e ião nitrato (NO₃⁻) nos compostados está diretamente relacionada com o tempo de compostagem. Ao longo do processo de compostagem é possível observar que a concentração do ião amónio diminui e que a concentração de ião nitrato aumenta. Por isso, durante a maturação do compostado a razão N-NH₄⁺ / N-NO₃⁻ diminui gradualmente.

Deve prestar-se especial atenção à quantidade de N mineralizado dos compostados, pois quanto mais elevada for a quantidade de N mineral maior é o potencial risco de impacto ambiental (Kutu e Masowa, 2018), porque se a eficiência de utilização pelas culturas do N mineral do composto diminuir, as perdas potenciais de N por volatilização do amoníaco ou lixiviação do ião amónio, mas principalmente do ião nitrato, aumentarão (Brito et al., 2014).

1.7. Objetivos do trabalho

Considerando que é necessário estudar o efeito dos corretivos orgânicos de resíduos vinícolas, resultantes da compostagem de engaços e de lamas provenientes do tratamento das águas de lavagem da maquinaria utilizada nas operações de vinificação, e resultantes da compostagem destes materiais com biochar, na fertilidade do solo e na produtividade das culturas, este trabalho teve como objetivo principal avaliar o efeito destes corretivos na cultura da alface recorrendo a experiências de vasos. Entre os objetivos específicos do trabalho incluiu-se a avaliação dos corretivos orgânicos com diferentes tempos de compostagem, a avaliação dos corretivos orgânicos produzidos com diferentes proporções entre lamas e engaços, e a avaliação dos corretivos produzidos com e sem adição de biochar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios com alface (*Lactuca sativa* L.) variedade Cardiga foram instalados numa estufa não climatizada localizada na Escola Superior Agrária de Ponte de Lima (ESAPL) (41°47'30"N, 8°32'24"O, 50 m de altitude).

2.1. Delineamento experimental

Realizaram-se três experiências de vasos com tratamentos idênticos variando apenas o tempo de compostagem com que foram produzidos os respetivos compostados, designadamente, com 6, 12 e 18 semanas de compostagem.

As experiências da alface foram executadas em vasos colocados numa bancada em 4 blocos casualizados e 9 tratamentos por bloco, resultantes de 4 compostados provenientes de 4 pilhas de compostagem com diferentes misturas de materiais. Estas misturas variaram na proporção entre lamas e engaços e na adição, ou não adição, de biochar, de acordo com o que se apresenta no Quadro 7.

Quadro 7 - Composição das pilhas de compostagem

	Pilha LE	Pilha LEB	Pilha LEE	Pilha LEEB
Lamas (kg)	1500	1500	1500	1500
Engaço (kg)	1500	1500	2250	2250
Biochar (kg)	0	500	0	625

Os quatro compostados foram aplicados ao solo na proporção equivalente às doses de 20 e 40 t ha⁻¹ de compostado e inclui-se um tratamento controlo sem compostado. Os nove tratamentos, e respetivas siglas, encontram-se descritos no Quadro 8 .

Quadro 8 - Tratamentos experimentais

Sigla	Tratamento	Sigla	Tratamento
Solo	Tratamento sem compostado		
LE20	Pilha LE - 20 t ha ⁻¹	LE40	Pilha LE - 40 t ha ⁻¹
LEB20	Pilha LEB20 - 20 t ha ⁻¹	LEB40	Pilha LEB20 - 40 t ha ⁻¹
LEE20	Pilha LEE - 20 t ha ⁻¹	LEE40	Pilha LEE - 40 t ha ⁻¹
LEEB20	Pilha LEEB - 20 t ha ⁻¹	LEEB40	Pilha LEEB - 40 t ha ⁻¹

As siglas das pilhas encontram-se referidas no Quadro 7

2.2. Instalação das experiências na estufa

2.2.1. Instalação da cultura da alface

As alfaces (*Lactuca sativa* L.) variedade Cardiga, foram adquiridas num viveiro. As plantas utilizadas possuíam duas a três folhas destacadas.

A variedade Cardiga é adaptada para as condições de inverno, apresentando ainda as seguintes características: variedade aberta; muito tolerante ao Tip-burn (queima da borda); volumosa e compacta; muito homogénea; excelente formação basal e com resistência à *Bremia lactucae*.

2.2.2. Preparação do solo e do compostado

Para cada ensaio utilizaram-se 36 vasos previamente lavados. Em cada vaso (0,28 m de diâmetro e 0,22 m de altura) colocaram-se 10 kg de terra anteriormente recolhida entre 0 e 20 cm de profundidade numa parcela da exploração agrícola da ESAPL que se encontrava apenas com oliveiras, e onde não se realizou qualquer fertilização ou tratamento fitossanitário.

Os compostados utilizados foram recolhidos com 6 semanas, 12 semanas e 18 semanas de compostagem, sendo as datas de plantação correspondentes à data da receção dos mesmos.

A preparação dos vasos ocorreu no mesmo dia da plantação. A cada vaso foi adicionado solo e o respetivo composto. Os compostados foram pesados nos pratos do vaso e a sua incorporação no solo (homogeneização) foi realizada com o auxílio de um recipiente (balde) de plástico de 40 L.

2.2.3. Transplantação, rega, controlo de infestantes, temperatura e humidade do ar

As transplantações realizaram-se nos dias 4 de dezembro de 2017, 17 de janeiro de 2018 e 28 fevereiro 2018.

Cada vaso após a transplantação foi regado com 1 litro de água. As plantas foram regadas sempre que necessário de forma a que a falta de água no solo não limitasse o crescimento da alface (Quadro 9). Colocou-se um prato por baixo de cada vaso com a finalidade de recolher os lixiviados, os quais, foram recolocados no vaso.

Quadro 9 - Regas efetuadas para as três plantações

1ª Plantação		2ª Plantação		3ª Plantação	
Data	Quantidade	Data	Quantidade	Data	Quantidade
04-12-2017	1L	17-01-2017	1L	28-02-2018	1L
26-12-2017	0,5L	06-02-2018	1L	07-03-2018	1L
30-01-2018	1L	21-02-2018	1L	16-03-2018	1L
06-02-2018	1L	14-03-2018	1L	29-03-2019	1L
				12-03-2019	1L

Durante o ciclo vegetativo da alface até à colheita houve o cuidado de eliminar todas as infestantes logo após emergirem para que não houvesse absorção de nutrientes pelas infestantes. Durante todo o ciclo produtivo registou-se em cada hora a temperatura e a humidade relativa do ar com um data logger associado a um Termohigrómetro Tinytag Ultra TGU-4500, e calcularam-se as médias diárias. As temperaturas médias diárias para os três ensaios foram respetivamente 12, 13 e 16 °C (Figura 1).

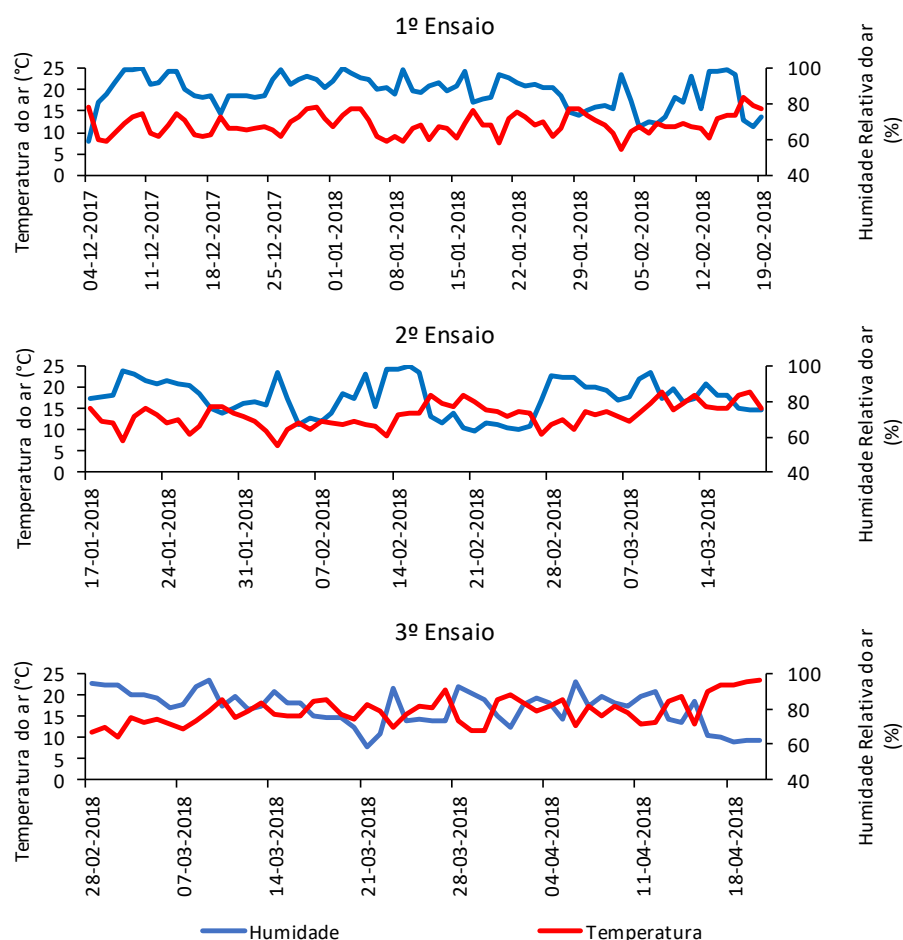


Figura 1 - Dados de temperatura e humidade relativa do ar dos três ensaios

2.2.4. Colheita de plantas, solo e compostados para análise

No dia em que se executou a transplantação, foram selecionadas 10 plantas de alface. Estas 10 plantas, representativas das plantas transplantadas para os tratamentos, foram lavadas em água corrente, com o objetivo de lhes serem retiradas o substrato, para ficarem com a raiz nua. De imediato foram secas com papel absorvente e separou-se a raiz da parte aérea pelo colo da planta. Foi determinado o peso fresco da parte aérea e das raízes do conjunto das 10 plantas de viveiro.

As plantas provenientes do viveiro foram em seguida colocadas na estufa durante 2 dias à temperatura de 60 °C, para posterior determinação do peso seco.

No dia da transplantação, foram colhidas 6 amostras de solo e 6 de cada um dos compostados com cerca de 0,5 kg cada, as quais, foram divididas em duas amostras de aproximadamente 100 g e 400 g. Cada amostra de 100g solo e de compostado, devidamente identificada, foi colocada de imediato em extratos com KCl para determinação do azoto mineral, $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$.

As amostras de 400 g dos solos foram utilizadas para a determinação do teor de matéria seca, pH, CE. A matéria seca resultante foi moída num moinho de laboratório em crivo de 1 mm e posteriormente utilizadas para determinação de MO, bem como para proceder à digestão sulfúrica para determinação do N e P e para a digestão nitro-perclórica para determinar o K, Ca, Mg e Fe.

As amostras de 400 g dos compostados foram utilizadas para a determinação do pH da CE e do teor de matéria seca. A matéria seca resultante foi moída num moinho de laboratório em crivo de 1 mm e posteriormente utilizadas para determinação de MO, bem como para proceder à digestão sulfúrica para determinação do N e P e para a digestão nitro-perclórica para determinar o K, Ca Mg e Fe.

2.2.5. Colheita da alface

A colheita das 36 alfaces de cada uma das três experiências foi realizada da mesma forma, sendo a primeira colheita no dia 19 de fevereiro, a segunda no dia 19 de março e a terceira no dia 20 de abril.

O processo de colheita foi conduzido da seguinte forma:

1. O torrão e a planta foram retirados com um ligeiro batimento na base do vaso;

2. A parte da raiz foi emergida num cesto com água para facilitar a separação da terra, das raízes da planta;
3. Com água corrente retirou-se ainda mais terra;
4. Colocou-se a planta com as raízes num saco com o respetivo número;
5. As plantas foram levadas para o laboratório onde se retirou a restante terra ainda presente nas raízes;
6. Todas as plantas foram separadas pelo colo;
7. Procedeu-se então à determinação do peso fresco da parte aérea e das raízes das plantas de cada tratamento;
8. De seguida foram colocadas em saco de papel, e colocadas na estufa à temperatura de 65 °C, durante dois dias, no fim dos quais, foi determinado o peso seco da parte aérea e da raiz da planta de cada repetição de cada tratamento.

2.3. Trabalho de laboratório

2.3.1. Análise das plantas

O peso fresco e o peso seco das folhas da alface foram determinado com balança de precisão. As amostras secas foram moídas num moinho de precisão Retsch GM 200. Com as amostras moídas procedeu-se à realização das digestões sulfúricas e nitro-perclóricas. Com esses digeridos obtiveram-se a partir dos digeridos sulfúricos o N e P, sendo que o N e o P foram obtidos por espectrofotometria de absorção molecular. O N foi obtido por reação de cor com utilizando o nitroprussiato de sódio com salicilato. A partir das digestões nitro-perclóricas determinou-se o K por espectrofotometria de emissão de chama e o Ca, o Mg e o Fe foram determinados por espectrofotometria de absorção atómica.

2.3.2. Análise do solo e dos compostados

O teor de humidade (H) foi determinado pelo método gravimétrico com secagem a 105°C durante dois dias.

A determinação do pH dos solos foi feita por extração em água desionizada a 22 °C na proporção de 10g de amostra para 25 ml de água. A leitura foi feita com um potenciómetro para pH e um condutivímetro para a CE.

A determinação do pH e CE dos compostados foi feita na fração húmida por extração em água desionizada a 22 °C na proporção de 20 g de amostra para 200 ml de água. A leitura foi feita com um potenciómetro para pH e um condutivímetro para a CE.

O teor de MO do solo foi determinada por espectrofotometria de absorção molecular pelo método de oxidação com dicromato de sódio, calibrado pelo método titulométrico de Tynsléi. O teor de MO dos compostados foi obtido pelo método gravimétrico por calcinação a peso estável em mufla a 550°C.

A determinação dos teores de N, P, K Ca, Mg e Fe foi realizada de acordo com o método utilizado para as folhas de alface.

A razão C/N do solo foi calculada pelo quociente entre o teor de C e o teor de N, sendo a concentração de C calculada pela fração entre a concentração de MO e a constante 1,724 para o solo e 1,8 para os compostados (fator de van Bemmelen).

2.4. Análise estatística

A análise dos efeitos principais e dos tratamentos realizou-se através da análise de variância de 1 fator e 9 tratamentos. Para comparar as médias entre diferentes tratamentos utilizou-se o teste de Duncan ($p < 0,05$), recorrendo ao programa SPSS v20.

3. RESULTADOS

3.1. Ensaio com os compostados de 6 semanas

3.1.1. Características dos compostados e do solo

As principais características do solo, e dos compostados, utilizados nos ensaios da alface encontram-se no Quadro 10. Nota-se que a presença de biochar nos compostados aumentou o pH, o teor de MO e o teor de Ca. Relativamente ao solo podemos verificar que este possui um pH ácido.

Quadro 10 - Características do solo e dos compostados com 6 semanas (média \pm desvio padrão).

	LE	LEB	LEE	LEEB	Solo
MS (%)	18,1 \pm 0,4	17,6 \pm 0,3	16,5 \pm 0,8	16,9 \pm 0,7	89,3 \pm 2,1
pH	7,8 \pm 0,2	9,1 \pm 0,0	8,1 \pm 0,1	9,3 \pm 0,1	4,5 \pm 0,1
CE (dS m ⁻¹)	0,3 \pm 0,01	0,5 \pm 0,0	0,3 \pm 0,01	0,5 \pm 0,01	0,9 \pm 0,4
MO (g kg ⁻¹)	689 \pm 21	708 \pm 17	716 \pm 26	741 \pm 11	41 \pm 3
N (g kg ⁻¹)	21,8 \pm 1,0	18,9 \pm 0,6	20,7 \pm 1,2	18,1 \pm 0,8	3,9 \pm 0,2
C (g kg ⁻¹)	382 \pm 11	393 \pm 9	397 \pm 15	411 \pm 6	24 \pm 2
C/N	17,5	20,9	19,2	22,7	6,19
P (g kg ⁻¹)	6,2 \pm 1,1	6,0 \pm 0,4	5,5 \pm 0,5	5,2 \pm 0,7	2,6 \pm 0,2
K (g kg ⁻¹)	14,0 \pm 1,7	13,5 \pm 0,7	15,1 \pm 2,9	14,7 \pm 0,5	9,6 \pm 1,6
Ca (g kg ⁻¹)	5,7 \pm 0,5	10,3 \pm 0,9	5,9 \pm 0,3	12,2 \pm 0,4	1,0 \pm 0,2
Mg (g kg ⁻¹)	2,9 \pm 0,2	3,0 \pm 0,1	3,1 \pm 0,01	3,5 \pm 0,1	7,9 \pm 0,8
Fe (g kg ⁻¹)	2,9 \pm 0,1	2,5 \pm 0,4	2,7 \pm 0,5	2,3 \pm 0,1	30,2 \pm 2,7

A matéria orgânica (MO) e os teores dos nutrientes encontram-se expressos em relação à matéria seca. As siglas das pilhas encontram-se referidas no Quadro 7.

3.1.2. Características das plantas de viveiro

O peso fresco, peso seco e o teor de matéria seca das folhas e das raízes das alfaces de viveiro encontra-se no Quadro 11.

Quadro 11 - Peso fresco, peso seco e matéria seca das plantas de viveiro.

	PF(g)	PS(g)	MS(%)
Folhas	3,13	0,22	6,87
Raízes	0,67	0,06	8,66

3.1.3. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas de alface

O peso fresco (PF) das folhas da alface, para o conjunto dos tratamentos, apenas aumentou significativamente com o tratamento LE40 em comparação com os restantes tratamentos, como se verifica na Figura 2. Verificou-se que o aumento de aplicação dos compostados LEB, LEE e LEEB de 0 para 20 e de 20 para 40 t ha⁻¹ não contribuiu para aumentar o peso das folhas.

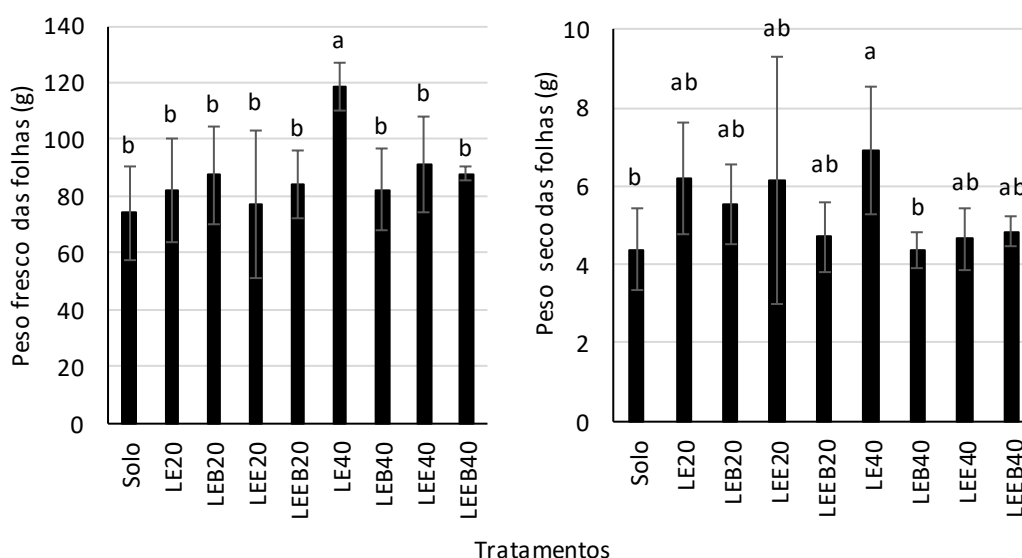


Figura 2 - Peso fresco e peso seco das folhas de alface (compostado com 6 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

O peso seco (PS) das folhas, aparentemente, aumentou com a aplicação de todos os compostados (Figura 2), no entanto, o único aumento significativo ($p < 0,05$) foi entre a aplicação de 40 t ha⁻¹ do compostado LE e os tratamentos sem compostado e LEB40. O aumento da dose dos compostados de 20 para 40 t ha⁻¹ não contribuiu para aumentar o peso seco das alfaves.

O teor de matéria seca (MS) nas folhas de alface variou entre 5,1 e 7,9%. Este teor nos tratamentos sem compostado foi igual a todos os tratamentos com compostados

(Figura 3). O teor de MS das folhas de alface produzidas com o compostado LEE diminuiu significativamente ($p < 0,05$) com o aumento de quantidade de compostado de 20 para 40 t ha⁻¹ (Figura 3).

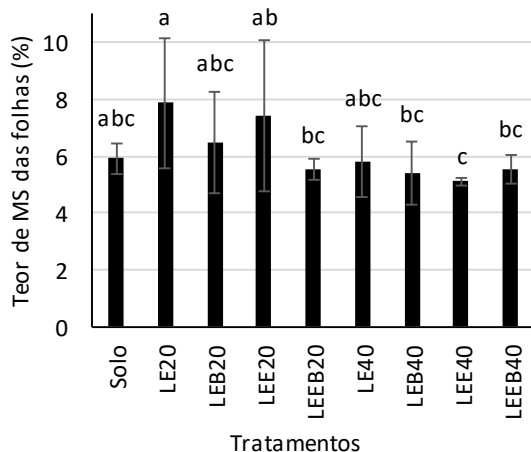


Figura 3 - Teor (%) de matéria seca (MS) das folhas de alface (compostado com 6 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

3.1.4. Teores e acumulação de nutrientes nas folhas de alface

Os teores (g kg⁻¹) de nutrientes nas folhas da alface estão representados no Quadro 12, para cada um dos tratamentos, e a acumulação (mg planta⁻¹) de nutrientes encontra-se representada na Figura 4.

O teor de N diminuiu significativamente nas folhas produzidas com LEEB40 quando comparado com o teor de N das folhas dos tratamentos sem compostado. Para os restantes tratamentos onde se aplicaram compostados o teor de N das folhas foi semelhante ao teor das folhas do tratamento controlo. O teor de N nas alfaces produzidas com LEE diminuiu quando se aumentou a aplicação desse compostado de 20 t ha⁻¹ para 40 t ha⁻¹ (Quadro 12).

Relativamente ao teor de P a aplicação de LEEB40 resultou em aumentos significativos desse teor em comparação com os tratamentos controlo, LEE20, LEB20 e LE20. O tratamento LE20 resultou num teor de P significativamente inferior em relação a todos os tratamentos com 40 t ha⁻¹ de compostado e em comparação com o tratamento LEEB20. A dose de 40 t ha⁻¹ resultou em maiores teores de P quando comparada com a dose de 20 t ha⁻¹ apenas no compostado LE (Quadro 12).

O teor de K aumentou significativamente para LEEB40 e LE40 quando comparados com o tratamento sem compostado. Quando comparadas as doses para o mesmo

compostado verificamos que a dose de 40 t ha⁻¹ resultou em maiores teores de K quando comparadas com a dose de 20 t ha⁻¹ apenas no compostado LE (Quadro 12).

O teor de Ca no tratamento controlo foi superior a todos os tratamentos cuja aplicação foi de 40 t ha⁻¹, bem como para LE20. Relativamente ao teor de Mg verificamos que a alface produzida sem compostado possuía sempre teores superiores quando comparados com os outros tratamentos. O teor de Fe não apresentou diferenças significativas entre tratamentos, exceto entre LEB20 e LEE20 onde foi superior (Quadro 12).

Quadro 12 - Teores de nutrientes (g kg⁻¹) nas folhas da alface (compostado com 6 semanas).

Tratamento	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	Fe (g kg ⁻¹)
LE20	27,15	1,34	26,38	6,22	2,02	0,46
LEB20	30,47	2,08	31,39	8,87	2,34	0,19
LEE20	29,87	2,12	32,61	8,66	2,50	0,60
LEEB20	23,69	2,75	40,58	9,28	2,23	0,31
LE40	32,63	2,57	47,16	6,67	2,07	0,46
LEB40	26,24	2,81	38,41	7,86	1,95	0,23
LEE40	21,95	3,08	40,36	7,64	1,97	0,22
LEEB40	18,58	3,65	43,28	7,30	1,91	0,30
Solo	28,03	2,28	24,70	10,44	3,00	0,34
LSD	5,87	1,07	16,18	2,08	0,37	0,38

LSD significa a menor diferença significativa entre médias (p <0,05) para o mesmo nutriente. As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

A absorção e consequente acumulação (mg planta⁻¹) de N aumentou significativamente (p <0,05) nas folhas de alface quando se utilizaram 40 t ha⁻¹ de LE40 quando comparada com a aplicação de 0 t ha⁻¹. No entanto, as folhas produzidas no tratamento apenas com solo acumularam significativamente mais N do que as folhas dos tratamentos LEE40 e LEEB40 (Figura 4). O aumento de 20 para 40 t ha⁻¹ fez com que a absorção de N pelas folhas diminui-se na aplicação do compostado LEE.

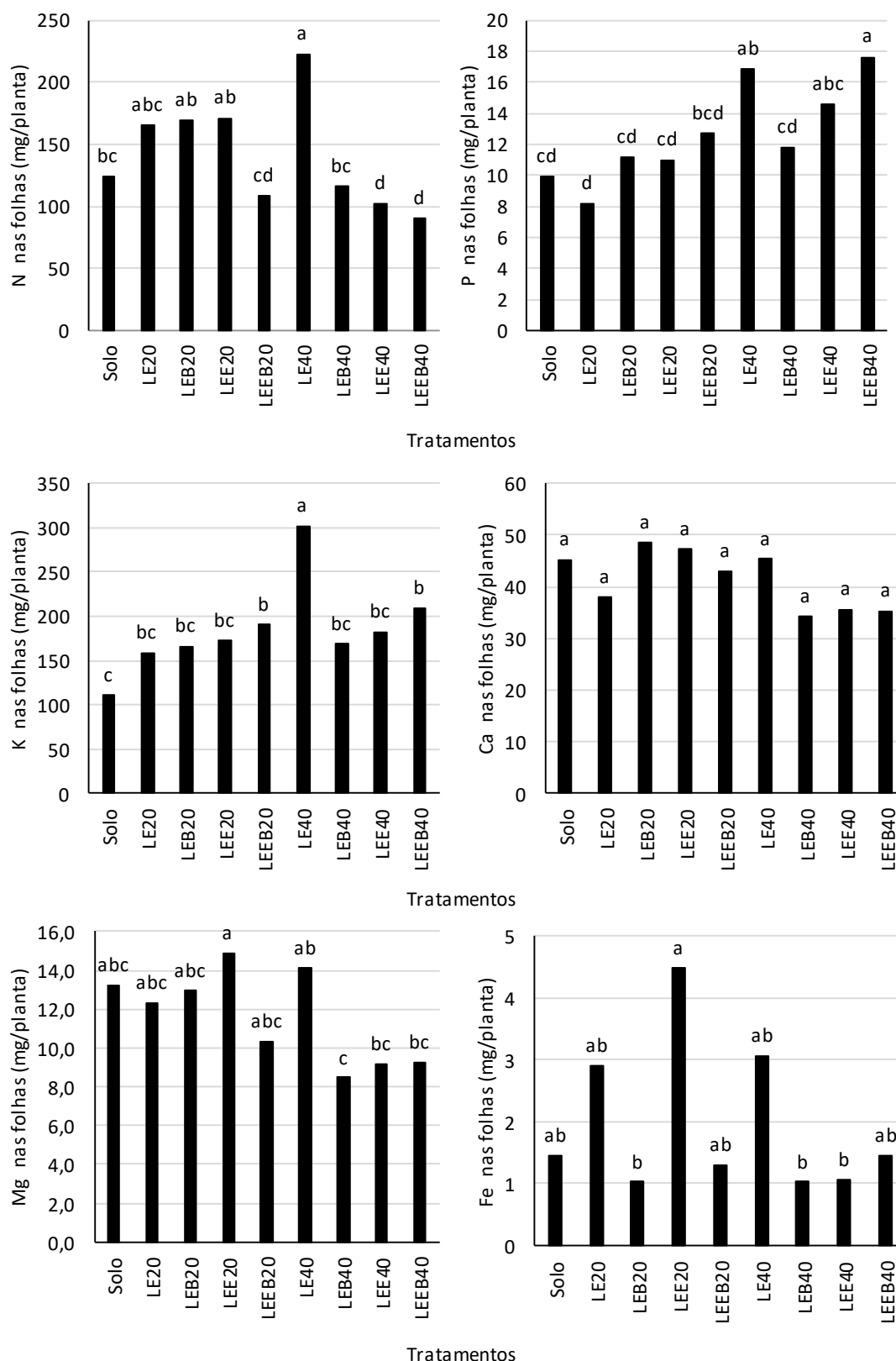


Figura 4 - Acumulações de nutrientes (mg planta⁻¹) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas de alface (compostado com 6 semanas). Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes (p <0,05). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

Relativamente à absorção e consequente acumulação (mg planta^{-1}) de P verificamos que essa quantidade de P foi significativamente superior ($p < 0,05$) nos tratamentos LE40 e LEEB40 em comparação com os tratamentos solo (Figura 4). Em LE e LEEB a passagem de 20 para 40 t ha^{-1} de compostado resultou em maiores acumulações de P. (Figura 4).

Quanto à absorção e consequente acumulação (mg planta^{-1}) de K registou-se aumentos significativos ($p < 0,05$) nos tratamentos LEEB20, LE40 e LEEB40 (Figura 4), quando comparados com os tratamentos solo. Relativamente à absorção e consequente acumulação (mg planta^{-1}) de Ca não se observaram diferenças significativas (Figura 4).

A absorção e consequente acumulação (mg planta^{-1}) de Mg nas folhas do tratamento solo foi igual a todos os outros tratamentos. A aplicação de 40 t ha^{-1} de LEE fez com que a absorção e consequente acumulação (mg planta^{-1}) de Mg diminui-se significativamente em relação à aplicação do mesmo compostado, mas com 20 t ha^{-1} (Figura 4).

A absorção e consequente acumulação (mg planta^{-1}) de Fe, nas folhas produzidas sem compostado foi igual a todos os outros tratamentos. Observou-se que as folhas de LEE20 acumularam significativamente mais Fe do que as folhas LEB20, LEB40 e LEE40 (Figura 4).

3.1.5. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das raízes

O peso fresco das raízes da alface aumentou significativamente com a aplicação de 40 t ha^{-1} de compostado LE e LEE, em comparação com 0 t ha^{-1} . Apenas para o tratamento LE o aumento de 20 para 40 t ha^{-1} se traduziu num aumento significativo de PF das raízes (Figura 5).

O PS das raízes da alface apenas aumentou de forma significativa ($p < 0,05$) com a aplicação de 40 t ha^{-1} do compostado LE em comparação com os tratamentos controlo e LEB40 (Figura 5). O teor de matéria seca (MS) das raízes da alface variou em média entre 10,9 e 12,6%, não se verificando diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 6).

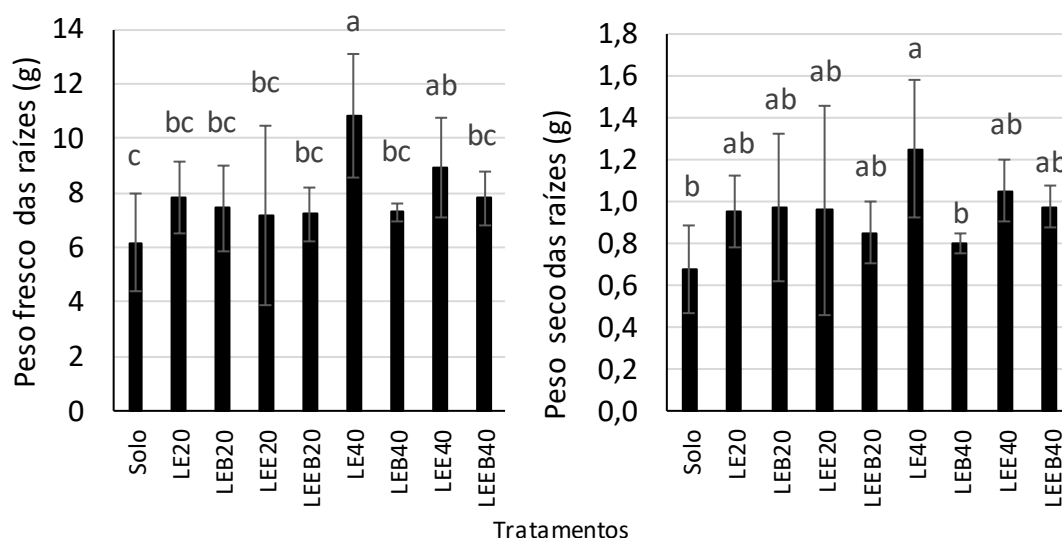


Figura 5 - Peso fresco e peso seco das raízes da alface (compostado com 6 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

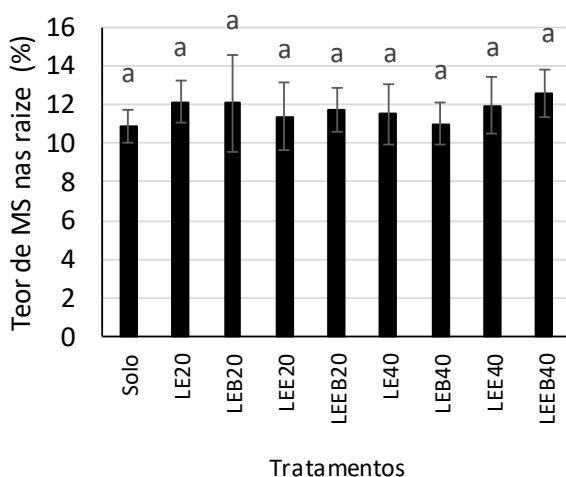


Figura 6 - Teor (%) de matéria seca (MS) nas raízes de alface (compostado com 6 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

3.1.6. Influência dos compostados no peso fresco da alface

O peso fresco (PF) das folhas da alface, não variou significativamente entre a média das aplicações dos 4 compostados, nem entre as médias dos compostados com e sem biochar. No entanto, PF da alface aumentou significativamente entre a média geral das alfaves produzidas com a dose de 40 t ha⁻¹ de compostado e a média da dose de 20 t ha⁻¹ de compostado (Figura 7).

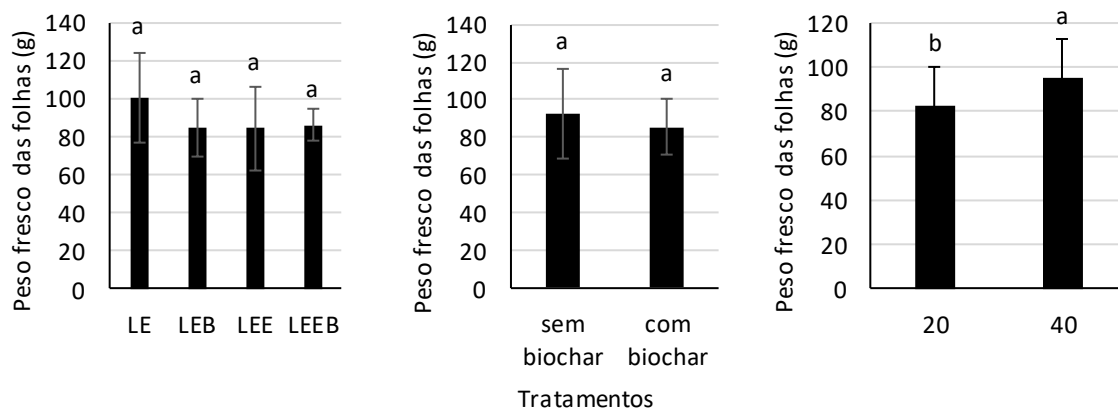


Figura 7 - Comparação do peso fresco das folhas entre os 4 compostados, com e sem biochar e aplicação de 20 e 40 t ha⁻¹ (compostado com 6 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas das pilhas encontram-se referidas no Quadro 7.

3.2. Ensaio com os compostados de 12 semanas

3.2.1. Características dos compostados e do solo

As principais características do solo e dos compostados utilizados neste ensaio com alface encontram-se no Quadro 13. Nota-se que a presença de biochar nos compostados aumentou o pH, os teores de MO e de Ca e a razão C/N. De salientar, também, o baixo valor de condutividade elétrica (CE) destes compostados. Relativamente ao solo podemos verificar que este possui um baixo valor de pH.

Quadro 13 - Características do solo e dos compostados com 12 semanas (média ± desvio padrão).

	LE	LEB	LEE	LEEB	Solo
MS (%)	27,6±0,5	29,2±0,6	26,0±0,3	26,9±0,3	76,8±0,5
pH	8,2±0,1	9,1±0,0	8,0±0,1	9,2±0,0	5,1±0,1
CE (dS m ⁻¹)	0,2±0,01	0,4±0,01	0,3±0,01	0,4±0,01	0,1±0,1
MO (g kg ⁻¹)	654±18	673±22	675±13	729±11	52±5
N (g kg ⁻¹)	24,6±0,8	18,6±0,6	23,6±0,1	19,2±0,4	4,5±0,6
C (g kg ⁻¹)	363±10	374±12	375±7	405±6	30±3
C/N	14,8	20,1	15,9	21,1	6,6
P (g kg ⁻¹)	6,1±0,5	5,4±0,7	6,6±0,8	5,3±0,5	2,3±0,4
K (g kg ⁻¹)	15,2±0,9	15,6±0,4	18,6±0,8	16,3±1,0	9,9±0,4
Ca (g kg ⁻¹)	6,6±0,4	11,0±0,7	6,4±0,5	11,6±0,5	0,7±0,2
Mg (g kg ⁻¹)	3,3±0,2	3,2±0,1	3,3±0,1	3,4±0,1	7,2±0,1
Fe (g kg ⁻¹)	3,0±0,3	2,6±0,0	2,8±0,3	2,1±0,2	28,1±1,1

A matéria orgânica (MO) e os teores dos nutrientes encontram-se expressos em relação à matéria seca. As siglas das pilhas encontram-se referidas no Quadro 7

3.2.2. Características das plantas de viveiro

O peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas e das raízes das alfaces de viveiro encontra-se no Quadro 14.

Quadro 14 - Peso fresco, peso seco e matéria seca das plantas de viveiro.

	PF(g)	PS(g)	MS(%)
Folhas	9,38	0,62	6,56
Raízes	2,05	0,22	10,71

3.2.3. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas

O peso fresco (PF) das folhas da alface aumentou significativamente ($p < 0,05$) para todos os tratamentos em comparação com o tratamento só com solo. A aplicação de 40 t ha⁻¹ de cada compostado resultou em aumentos produtivos significativamente superiores ($p < 0,05$) nos compostados LEB e LEEB, em comparação com a aplicação de 20 t ha⁻¹ desses mesmos compostados (Figura 8).

O peso seco (PS) das folhas da alface aumentou significativamente ($p < 0,05$) em todos os tratamentos com composto em comparação com os tratamentos sem compostados. Não se verificaram diferenças significativas entre os tratamentos com diferentes doses de aplicação dos compostados (Figura 8).

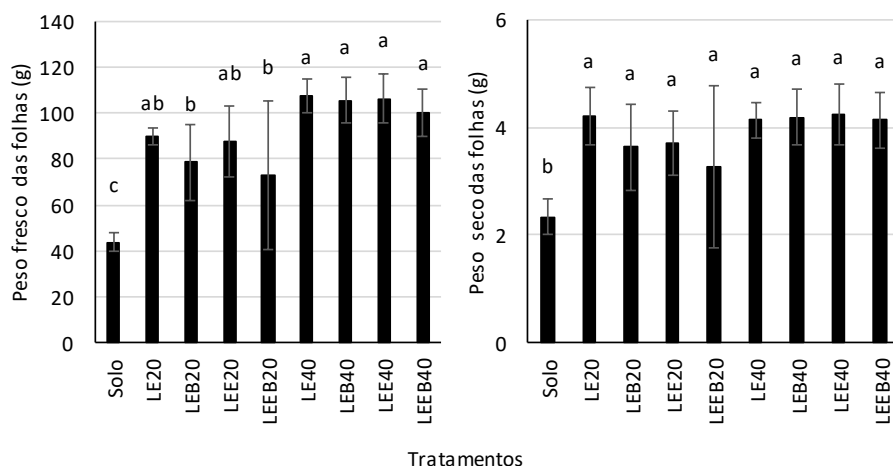


Figura 8 - Peso fresco e peso seco das folhas de alface (compostado com 12 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

O teor de matéria seca (MS%) variou entre 3,8 e 5,3% diminuindo significativamente ($p < 0,05$) em todos os tratamentos com compostados em comparação com o tratamento só com solo. A aplicação de 20 t ha⁻¹ dos compostados LE e LEB resultou em teores de MS significativamente superiores quando comparados com a aplicação de 40 t ha⁻¹ desses mesmos compostados (Figura 9).

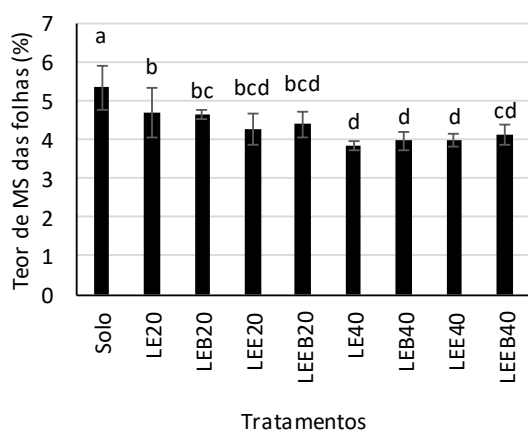


Figura 9 - Teor (%) de matéria seca (MS) das folhas de alface (compostado com 12 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

3.2.4. Teores e acumulação de nutrientes nas folhas de alface

Os teores (g kg^{-1}) de nutrientes nas folhas da alface estão representados no Quadro 15 para cada um dos tratamentos, e a acumulação (mg planta^{-1}) de nutrientes encontra-se representada na Figura 10.

O teor de N não variou significativamente entre as médias dos tratamentos com compostados. O maior valor absoluto no teor de N foi observado quando se aplicou 40 t ha^{-1} de LE, contudo só foi significativamente superior em relação ao tratamento controlo (Quadro 15).

Relativamente ao teor de P a aplicação de qualquer um dos tratamentos com compostado resultou num teor significativamente superior ($p < 0,05$) quando comparado com o tratamento controlo. Verifica-se que o teor de P é semelhante para todos os compostados quando se utilizaram 20 t ha^{-1} . As doses de 40 t ha^{-1} proporcionaram teores de P na alface significativamente superiores ($p < 0,05$) quando comparadas com 0 e 20 t ha^{-1} . O maior teor de P foi observado nas alfaces produzidas com o tratamento de LEE40 sendo significativamente superior ($p < 0,05$) a todos os outros tratamentos com a exceção de LE40 e LEEB40 (Quadro 15).

O teor de K, registou aumentos significativos em todos os tratamentos com compostado exceto nos tratamentos LEB20 e LEEB20, relativamente ao tratamento controlo. (Quadro 15).

Relativamente ao teor de Mg verificamos que a aplicação de 20 t ha^{-1} de LEE produz significativamente mais ($p < 0,05$) do que a aplicação de 20 t ha^{-1} de LEB e LEEB. Os teores de Fe e de Ca não apresentaram diferenças significativas entre tratamentos (Quadro 15).

Quadro 15 - Teores de nutrientes (g kg^{-1}) nas folhas da alface (compostado com 12 semanas).

Tratamento	N (g kg^{-1})	P (g kg^{-1})	K (g kg^{-1})	Ca (g kg^{-1})	Mg (g kg^{-1})	Fe (g kg^{-1})
LE20	26,58	3,35	47,87	6,32	2,64	0,83
LEB20	25,00	3,35	40,55	6,34	2,44	0,39
LEE20	26,98	3,56	50,05	6,83	2,85	0,54
LEEB20	26,51	3,65	41,19	6,32	2,44	0,30
LE40	27,39	5,88	53,57	6,37	2,76	0,40
LEB40	25,49	5,21	50,73	7,11	2,79	0,65
LEE40	25,11	5,97	50,07	6,30	2,71	0,43
LEEB40	23,67	5,32	54,73	6,90	2,76	0,50
Solo	23,20	2,19	26,90	6,74	2,68	0,63
LSD	3,83	0,68	14,06	0,87	0,31	0,66

LSD significa a menor diferença significativa entre médias ($p < 0,05$) para o mesmo nutriente. As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

A absorção e conseqüente acumulação (mg planta^{-1}) de N, em todos os tratamentos com compostado, aumentou significativamente ($p < 0,05$) em relação ao tratamento controlo (apenas solo). As folhas de alface com maior quantidade de N foram as do tratamento LE40 possuindo diferenças significativas com as produções de LEB20 e LEEB20. O aumento de 20 para 40 t ha^{-1} de cada compostado não resultou num aumento significativo de N nas folhas da alface (Figura 10).

Relativamente à acumulação de P nas alfaces de qualquer dos tratamentos com compostado, esta aumentou significativamente ($p < 0,05$) em relação ao tratamento controlo. É de observar que o aumento de 0 para 20 e de 20 para 40 t ha^{-1} traduziu-se num aumento significativo de P entre as doses de cada compostado (Figura 10).

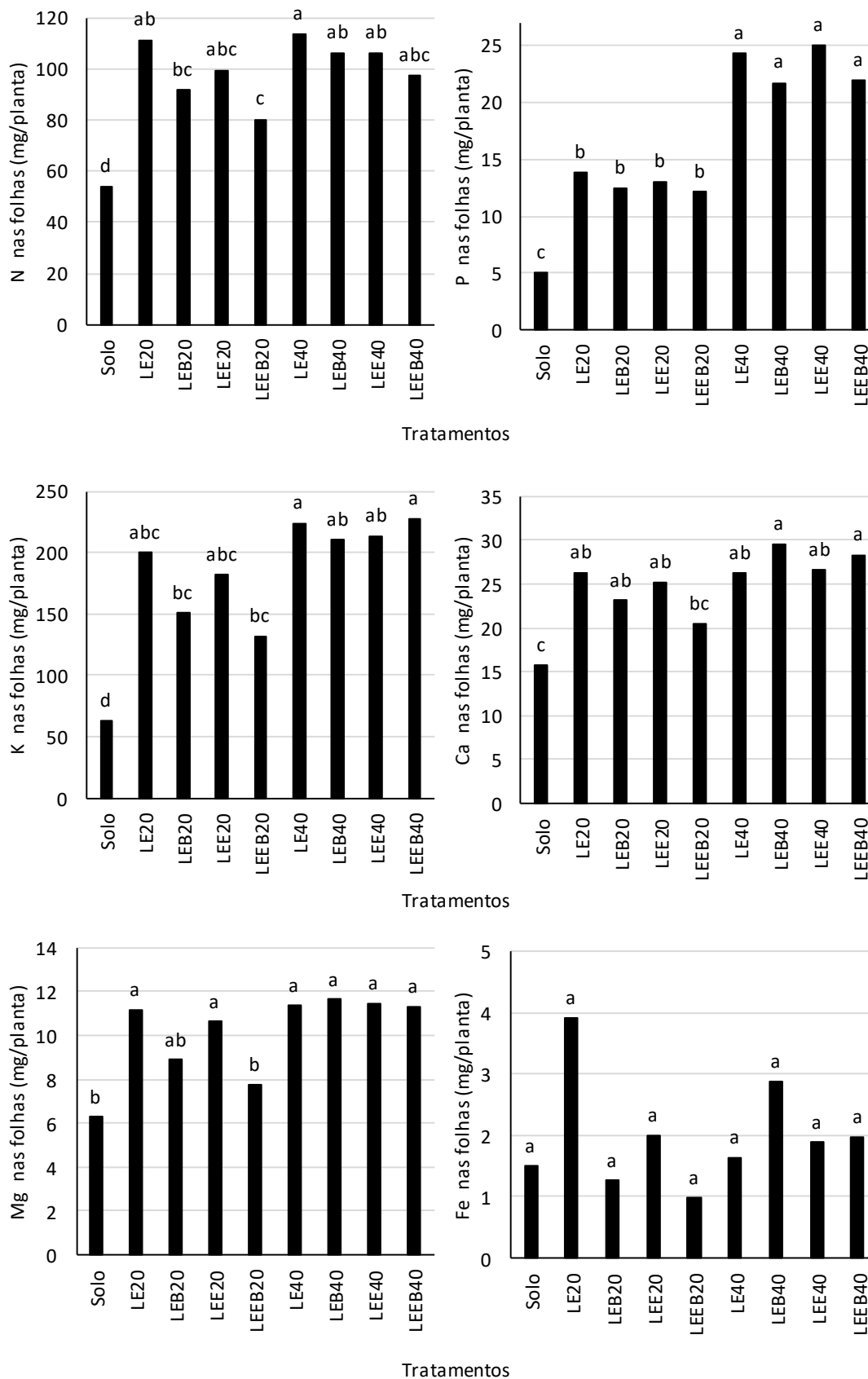


Figura 10 - Acumulações de nutrientes (mg planta⁻¹) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas de alface (compostado com 12 semanas). Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes (p < 0,05). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

Quanto à absorção de K registaram-se aumentos significativos em todos os tratamentos relativamente ao tratamento controlo. Apenas no compostado LEEB o aumento de 20 para 40 t ha⁻¹ revelou diferenças significativas na acumulação de K pela planta., sendo a maior dose correspondente ao maior teor de K acumulado pela folha da alface (Figura 10).

A acumulação de Ca, registou aumentos significativos em todos os tratamentos com compostado exceto nas folhas com o tratamento LEEB20, relativamente ao tratamento controlo. O aumento de 20 para 40 t ha⁻¹ no compostado LEEB revelou diferenças significativas correspondendo a maior dose à maior acumulação de Ca (Figura 10).

Quanto à absorção e consequente acumulação (mg planta⁻¹) de Mg, obtiveram-se aumentos significativos em todos os tratamentos exceto nas folhas com os tratamentos LEB20 e LEEB20, quando comparados com o tratamento controlo. (Figura 10). Não se observaram diferenças significativas na acumulação (mg planta⁻¹) de Fe entre quaisquer tratamentos (Figura 10).

3.2.5. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das raízes

O PF das raízes da alface tratada com compostado aumentou significativamente em relação à alface do tratamento controlo. Analisando apenas os tratamentos com compostados apenas se verificaram diferenças significativas (p<0,05) entre a aplicação de 20 t ha⁻¹ de LEEB quando comparado com 40 t ha⁻¹ de LEB onde as 40 t ha⁻¹ de LEB registaram produções significativamente superiores (Figura 11).

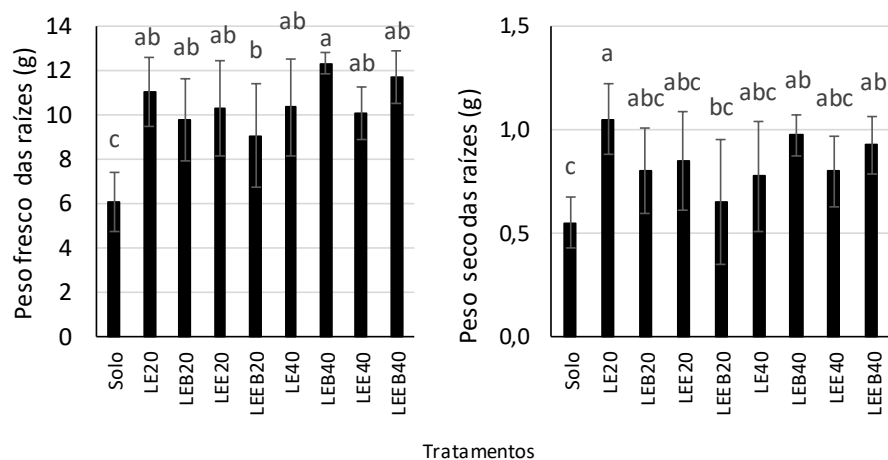


Figura 11 - Peso fresco e peso seco das raízes da alface (compostado com 12 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes (p < 0,05). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

O PS das raízes da alface apenas aumentou significativamente para os tratamentos LE20, LEB40 e LEEB40 em comparação com o PS das raízes do tratamento controle (Figura 11). O teor (%) de matéria seca (MS) das raízes da alface variou entre 7,3 e 9,5%, sendo que apenas os tratamentos controle e LE20 possuíam um teor de MS nas raízes significativamente superior aos tratamentos com compostado (Figura 12).

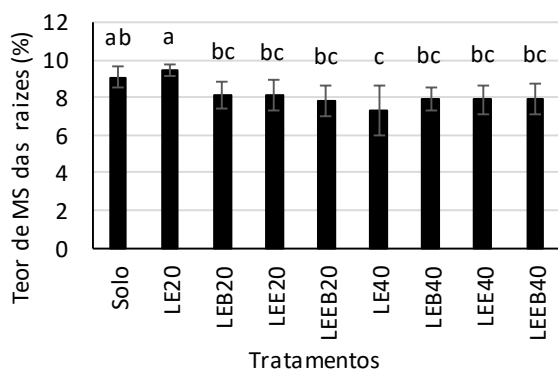


Figura 12 - Teor (%) de matéria seca (MS) das raízes de alface (compostado com 12 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

3.2.6. Influência dos compostados no peso fresco da alface

O peso fresco (PF) das folhas da alface, não variou significativamente entre a média das aplicações dos 4 compostados, nem entre as médias dos compostados com e sem biochar. No entanto, o PF da alface aumentou significativamente entre a média geral das alfaces produzidas com a dose de 40 t ha⁻¹ de compostado e a média da dose de 20 t ha⁻¹ de compostado (Figura 13).

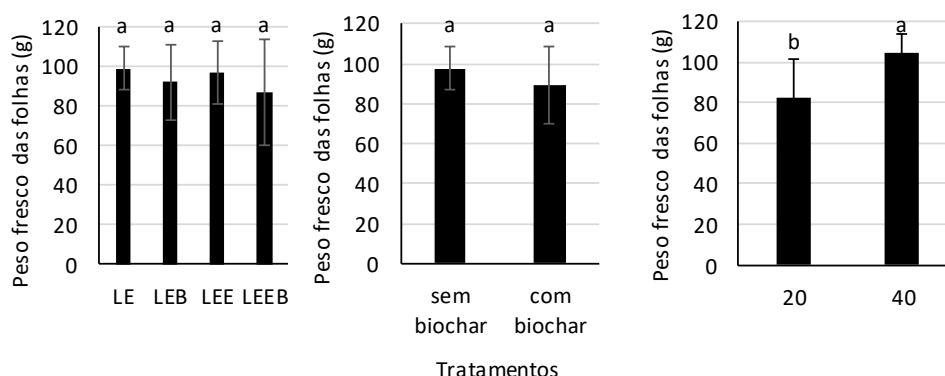


Figura 13 - Comparação do peso fresco das folhas entre os 4 compostados, com e sem biochar e aplicação de 20 e 40 t ha⁻¹ (compostado com 12 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas das pilhas encontram-se referidas no Quadro 7.

3.3. Ensaio com os compostados de 18 semanas

3.3.1. Características dos compostados e do solo

As características do solo e dos compostados utilizados neste ensaio com a planta de alface encontram-se no Quadro 16. É de realçar que a presença de biochar nos compostados aumentou o pH, e os teores de MO e de Ca. Destaca-se ainda o baixo valor de condutividade elétrica (CE) destes compostados. Relativamente ao solo podemos verificar que este é muito ácido enquanto os compostados são todos alcalinos.

Quadro 16 -Características do solo e dos compostados com 18 semanas (média \pm desvio padrão).

	LE	LEB	LEE	LEEB	Solo
MS (%)	30,4 \pm 0,6	29,9 \pm 0,9	26,4 \pm 0,9	27,8 \pm 0,2	81,0 \pm 0,3
pH	7,5 \pm 0,1	9,1 \pm 0,1	7,9 \pm 0,1	9,2 \pm 0,0	4,7 \pm 0,9
CE (dS m ⁻¹)	0,2 \pm 0,01	0,4 \pm 0,01	0,3 \pm 0,01	0,5 \pm 0,01	0,1 \pm 0,01
MO (g kg ⁻¹)	648 \pm 19	654 \pm 33	687 \pm 13	720 \pm 13	40 \pm 2
N (g kg ⁻¹)	24,9 \pm 1,0	19,8 \pm 0,3	24,5 \pm 0,7	18,1 \pm 0,8	3,5 \pm 0,2
C (g kg ⁻¹)	360 \pm 11	363 \pm 18	382 \pm 7	400 \pm 7	23 \pm 1
C/N	14,5	18,3	15,6	22,1	6,7
P (g kg ⁻¹)	8,7 \pm 0,0	5,7 \pm 0,3	6,1 \pm 0,5	5,1 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2
K (g kg ⁻¹)	14,9 \pm 0,6	14,7 \pm 0,5	18,4 \pm 2,7	16,0 \pm 0,8	9,5 \pm 0,8
Ca (g kg ⁻¹)	6,4 \pm 0,2	10,8 \pm 0,6	7,6 \pm 0,8	12,5 \pm 0,4	0,7 \pm 0,2
Mg (g kg ⁻¹)	3,0 \pm 0,1	3,1 \pm 0,0	3,4 \pm 0,3	3,6 \pm 0,1	7,8 \pm 0,5
Fe (g kg ⁻¹)	2,9 \pm 0,4	2,2 \pm 0,2	2,4 \pm 0,3	2,2 \pm 0,0	28,7 \pm 2,1

A matéria orgânica (MO) e os teores dos nutrientes encontram-se expressos em relação à matéria seca. As siglas das pilhas encontram-se referidas no Quadro 7.

3.3.2. Características das plantas de viveiro

O peso fresco, o peso seco e o teor de matéria seca das folhas e das raízes das alfaces no momento da transplantação encontram-se no Quadro 17.

Quadro 17 - Peso fresco, peso seco e matéria seca das plantas de viveiro.

	PF(g)	PS(g)	MS(%)
Folhas	2,53	0,25	9,87
Raízes	0,40	0,02	4,17

3.3.3. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas

O peso fresco (PF) das folhas da alface aumentou significativamente ($p < 0,05$) em todos tratamentos com compostado, exceto o LE20, quando comparados com o controlo. A aplicação de 40 t ha^{-1} de compostado, quando comparada com a aplicação de 20 t ha^{-1} , resultou em aumentos de produção ($p < 0,05$) apenas no compostado LE (Figura 14).

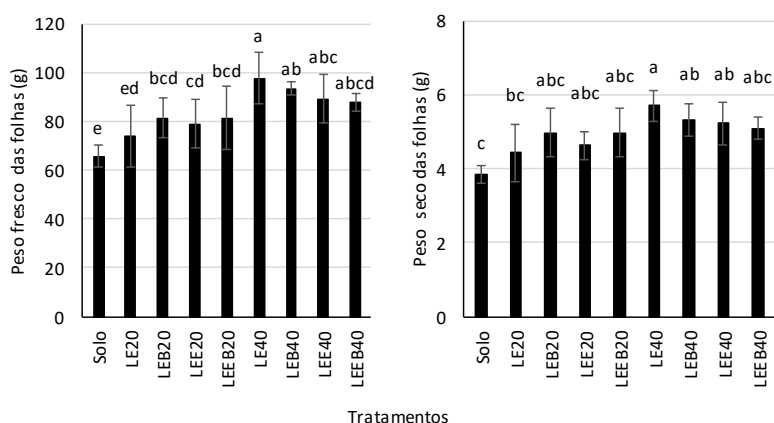


Figura 14 - Peso fresco e peso seco das folhas de alface (compostado com 18 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

O peso seco das folhas da alface aumentou ($p < 0,05$) para os tratamentos LE40, LEB40 e LEE40 em comparação com o tratamento sem compostado. Apenas no compostado LE o aumento de 20 para 40 t ha^{-1} de compostado revelou diferenças significativas, sendo o LE40 o mais produtivo. (Figura 14).

O teor de matéria seca (MS%) variou entre 5,7 e 6,1%, não apresentando diferenças significativas entre tratamentos (Figura 15).

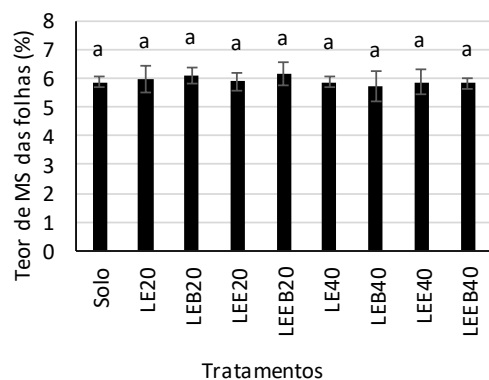


Figura 15 - Teor (%) de matéria seca (MS) nas folhas de alface (compostado com 18 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

3.3.4. Teores e acumulação de nutrientes nas folhas de alface

Os teores de nutrientes nas folhas da alface estão representados no Quadro 18, para cada um dos tratamentos, a acumulação (mg planta^{-1}) de nutrientes encontra-se representada na Figura 16.

O teor de N aumentou significativamente ($p < 0,05$) nos tratamentos LE40 e LE20, em comparação com os tratamentos LEEB40, LEE40 e LEEB20. O teor de N no tratamento controlo foi significativamente superior ao registado no tratamento LEEB40 (Quadro 18).

Relativamente ao teor de P a aplicação de 0 t ha^{-1} de compostado e de 20 t ha^{-1} de LEB e LE resultaram num teor significativamente inferior ($p < 0,05$) em comparação com os tratamentos com 40 t ha^{-1} . Verifica-se que o teor de P foi igual para todos os compostados quando se utilizaram as mesmas doses de compostado. O teor de P do tratamento com LEB40 foi significativamente superior ($p < 0,05$) a todos os tratamentos com 0 e 20 t ha^{-1} (Quadro 18).

O teor de K aumentou significativamente ($p < 0,05$) nos tratamentos LEE20 e LEEB20 quando comparados com o tratamento controlo (Quadro 18). Relativamente aos teores de Ca e Mg verificamos que o tratamento controlo apresentou um teor significativamente superior ($p < 0,05$) a todos os outros tratamentos (Quadro 18).

Relativamente ao teor de Fe observamos um aumento foi significativo ($p < 0,05$) no tratamento LEE40 quando comparado com os tratamentos controlo, LE20, LEE20 e LEB40 (Quadro 18).

A absorção e conseqüente acumulação (mg planta^{-1}) de N aumentou de forma significativa ($p < 0,05$) na média dos tratamentos LEB20, LE40, LEB40 e LEE40 em comparação com o tratamento sem qualquer compostado. As folhas de alface com maior quantidade de N foram as do tratamento LE40, sendo significativamente superior em relação aos outros tratamentos (Figura 16).

A acumulação de P (mg planta^{-1}) aumentou ($p < 0,05$) para os tratamentos com aplicação de 40 t ha^{-1} , bem como para os tratamentos LEE20 e LEEB20, em comparação com o tratamento controlo. Verificou-se que a absorção de P foi igual para todas as alfaces produzidas com 20 ou 40 t ha^{-1} de compostado. A maior acumulação de P foi observada nas folhas de alface com o tratamento de LEB40 sendo significativamente superior ($p < 0,05$) a todos os tratamentos com 0 e 20 t ha^{-1} de compostado (Figura 16).

Quadro 18 - Teores de nutrientes (g kg^{-1}) nas folhas da alface (compostado com 18 semanas).

Tratamento	N (g kg^{-1})	P (g kg^{-1})	K (g kg^{-1})	Ca (g kg^{-1})	Mg (g kg^{-1})	Fe (g kg^{-1})
LE20	20,80	3,68	34,80	4,94	2,00	0,32
LEB20	19,68	3,33	28,24	5,21	1,94	0,43
LEE20	19,69	4,35	40,00	4,85	2,00	0,21
LEEB20	18,53	4,40	40,03	5,21	1,90	0,40
LE40	20,63	4,80	31,95	4,18	2,00	0,54
LEB40	19,02	5,54	34,11	5,12	2,03	0,27
LEE40	18,21	5,08	34,57	4,37	2,10	0,80
LEEB40	17,10	5,44	33,84	4,96	2,02	0,39
Solo	19,60	3,62	24,81	7,48	2,40	0,26
LSD	1,85	1,02	13,14	0,89	0,28	0,41

LSD significa a menor diferença significativa entre médias ($p < 0,05$) para o mesmo nutriente. As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

Quanto à acumulação de K apenas se registaram aumentos significativos ($p < 0,05$) nos tratamentos, LEE20, LEEB20, LE40 e LEE40, em comparação com o tratamento controlo. O aumento de 20 para 40 t ha^{-1} não revelou diferenças significativas na acumulação de K pelas plantas (Figura 16).

A absorção e consequente acumulação (mg planta^{-1}) de Ca diminuiu significativamente ($p < 0,05$) nos tratamentos LE20 e LEE20 quando comparado com o tratamento controlo. (Figura 16).

Considerando a absorção e consequente acumulação (mg planta^{-1}) de Mg observamos que nenhum dos tratamentos apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação ao tratamento controlo. Constatamos que a acumulação de Mg foi superior ($p < 0,05$) com LEE40 e LE40 quando comparada com o tratamento LE20. (Figura 16).

Relativamente à acumulação de Fe verificamos que apenas existem diferenças significativas ($p < 0,05$) entre o tratamento controlo e o tratamento LEE40, sendo o teor de FE superior no tratamento LEE40 (Figura 16).

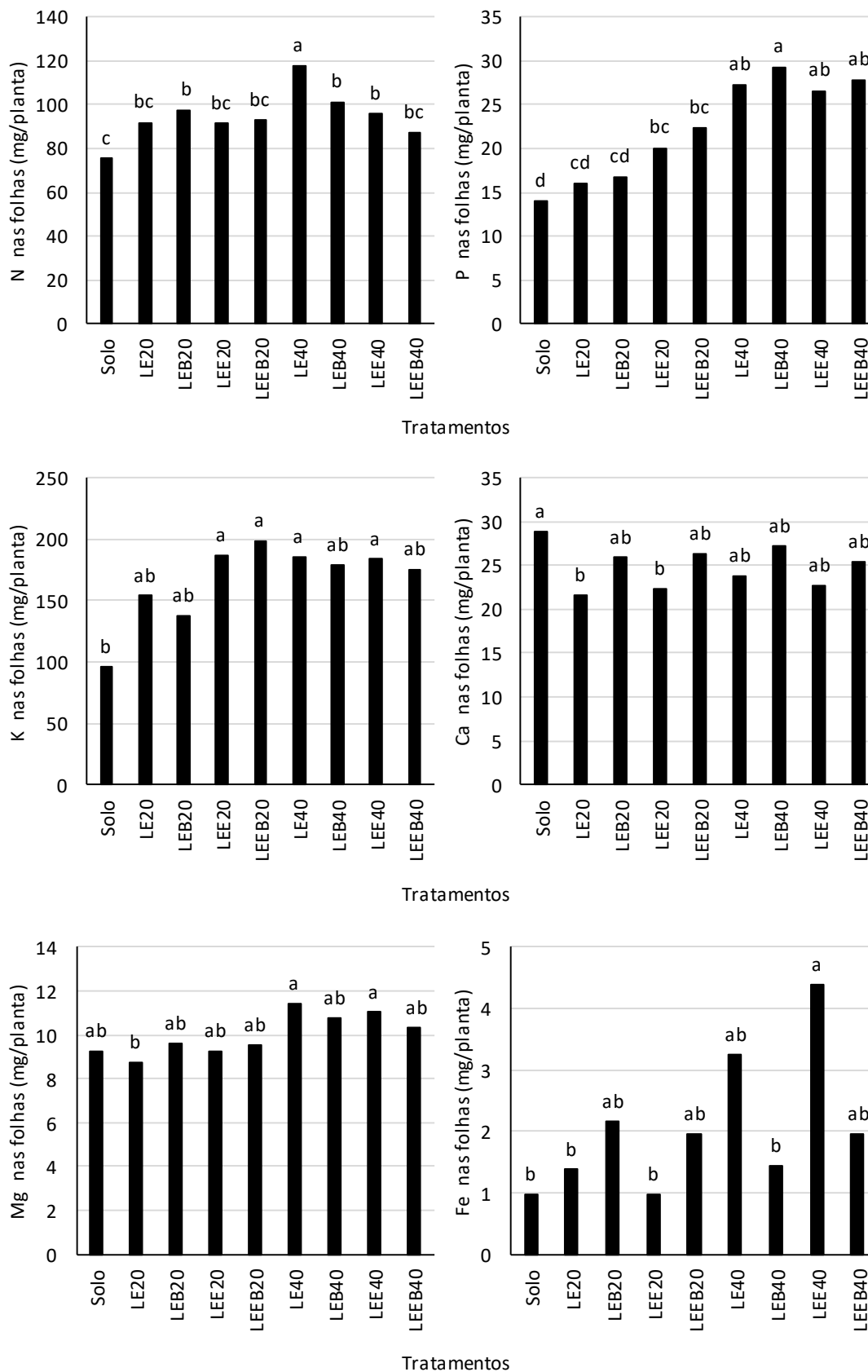


Figura 16 - Acumulações de nutrientes (mg planta⁻¹) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas de alface (compostado com 18 semanas). Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

3.3.5. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das raízes

O PF das raízes da alface no tratamento controlo foi sempre inferior ao PF das raízes de alface tratadas com compostados (Figura 17). O maior PF das raízes verificou-se no tratamento LE40 sendo este significativamente superior em relação a todos os outros tratamentos. O PF das raízes aumentou de forma significativa com o aumento da dose de compostado exceto no compostado LEB onde a aplicação de 20 t ha⁻¹ foi semelhante à aplicação de 40 t ha⁻¹.

O PS das raízes da alface, apenas não aumentou significativamente para os tratamentos LE20, LEE20 e LEEB20, em comparação com o PS das raízes da alface produzida sem compostado (Figura 17).

O teor de matéria seca das raízes da alface variou entre 9,8 e 10,7%, sem diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 18).

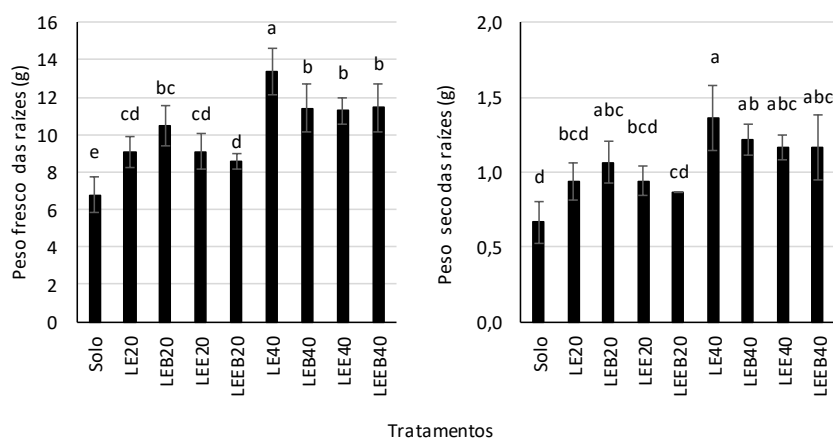


Figura 17 - Peso fresco e peso seco das raízes da alface (compostado com 18 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

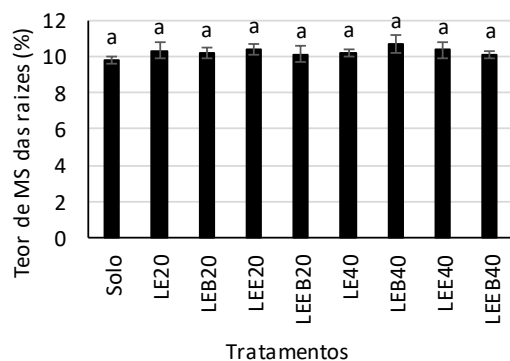


Figura 18 - Teor (%) de matéria seca (MS) das raízes de alface (compostado com 18 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

3.3.6. Influência dos compostados no peso fresco da alface

O peso fresco (PF) das folhas da alface, não variou significativamente entre a média das aplicações dos 4 compostados, nem entre as médias dos compostados com e sem biochar. No entanto, o PF da alface aumentou significativamente entre a média geral das alfaces produzidas com a dose de 40 t ha⁻¹ de composto e a média da dose de 20 t ha⁻¹ de composto (Figura 19).

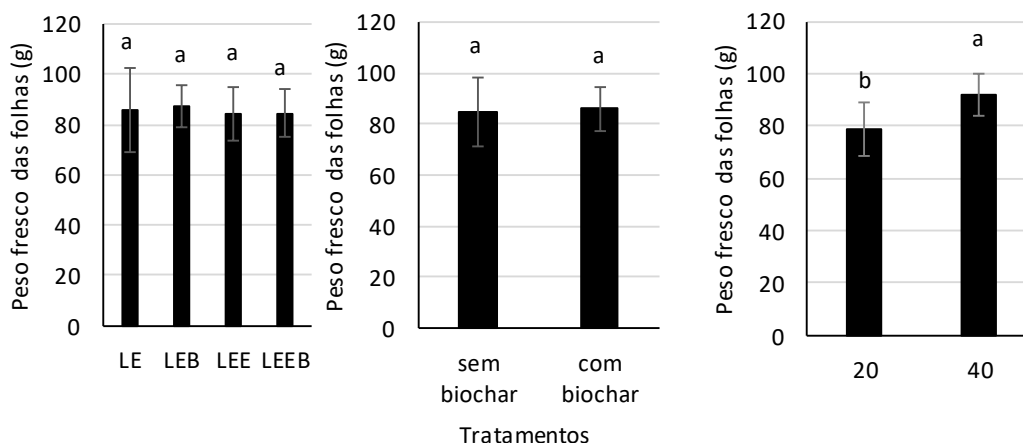


Figura 19 - Comparação do peso fresco das folhas entre os 4 compostados, com e sem biochar e aplicação de 20 e 40 t ha⁻¹ (compostado com 18 semanas). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas das pilhas encontram-se referidas no Quadro 7.

3.4. Resultados médios do conjunto dos ensaios

3.4.1. Características do solo e dos compostados

A média das principais características solo, e dos compostados, utilizados nos três ensaios da alface encontram-se no Quadro 19. A evolução da CE (dS m⁻¹), pH, C/N e MO (g kg⁻¹) para os quatro compostados encontram-se na Figura 20.

A média do teor de MO dos compostados diminuiu entre as 6 e as 18 semanas de compostagem devido à mineralização que se processa durante a compostagem e consequentemente também a razão C/N também diminuiu. Já as variações de pH não foram tão fortes nem consistentes, sendo o valor de pH superior nos compostados com biochar (Figura 20).

Quadro 19 - Características médias do solo e dos compostados. (média \pm desvio padrão).

	LE	LEB	LEE	LEEB	Solo
MS (%)	25,4 \pm 6,5	25,5 \pm 6,9	23,0 \pm 5,6	23,9 \pm 6,1	82,4 \pm 6,4
pH	7,8 \pm 0,3	9,1 \pm 0,01	8,0 \pm 0,1	9,2 \pm 0,1	4,7 \pm 0,3
CE (dS m ⁻¹)	0,2 \pm 0,01	0,4 \pm 0,01	0,3 \pm 0,01	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,4
MO (g kg ⁻¹)	664 \pm 22	679 \pm 27	693 \pm 21	730 \pm 10	44 \pm 7
N (g kg ⁻¹)	23,8 \pm 1,7	19,1 \pm 0,7	22,9 \pm 2,0	18,5 \pm 0,6	4,0 \pm 0,5
C (g kg ⁻¹)	369 \pm 0,8	377 \pm 4,4	385 \pm 4,3	406 \pm 0,8	26 \pm 0,8
C/N	15,6	19,8	16,9	21,9	6,5
P (g kg ⁻¹)	8,7 \pm 0,0	5,7 \pm 0,3	6,1 \pm 0,5	5,1 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2
K (g kg ⁻¹)	14,7 \pm 0,6	14,6 \pm 1,1	17,4 \pm 2,0	15,7 \pm 0,8	9,6 \pm 0,2
Ca (g kg ⁻¹)	6,2 \pm 0,5	10,7 \pm 0,4	6,6 \pm 0,8	12,1 \pm 0,4	0,8 \pm 0,2
Mg (g kg ⁻¹)	3,1 \pm 0,2	3,1 \pm 0,1	3,3 \pm 0,2	3,5 \pm 0,1	7,6 \pm 0,3
Fe (g kg ⁻¹)	2,9 \pm 0,1	2,4 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2	2,2 \pm 0,1	29,0 \pm 1,1

A matéria orgânica (MO) e os teores dos nutrientes encontram-se expressos em relação à matéria seca. As siglas das pilhas encontram-se referidas no Quadro 7.

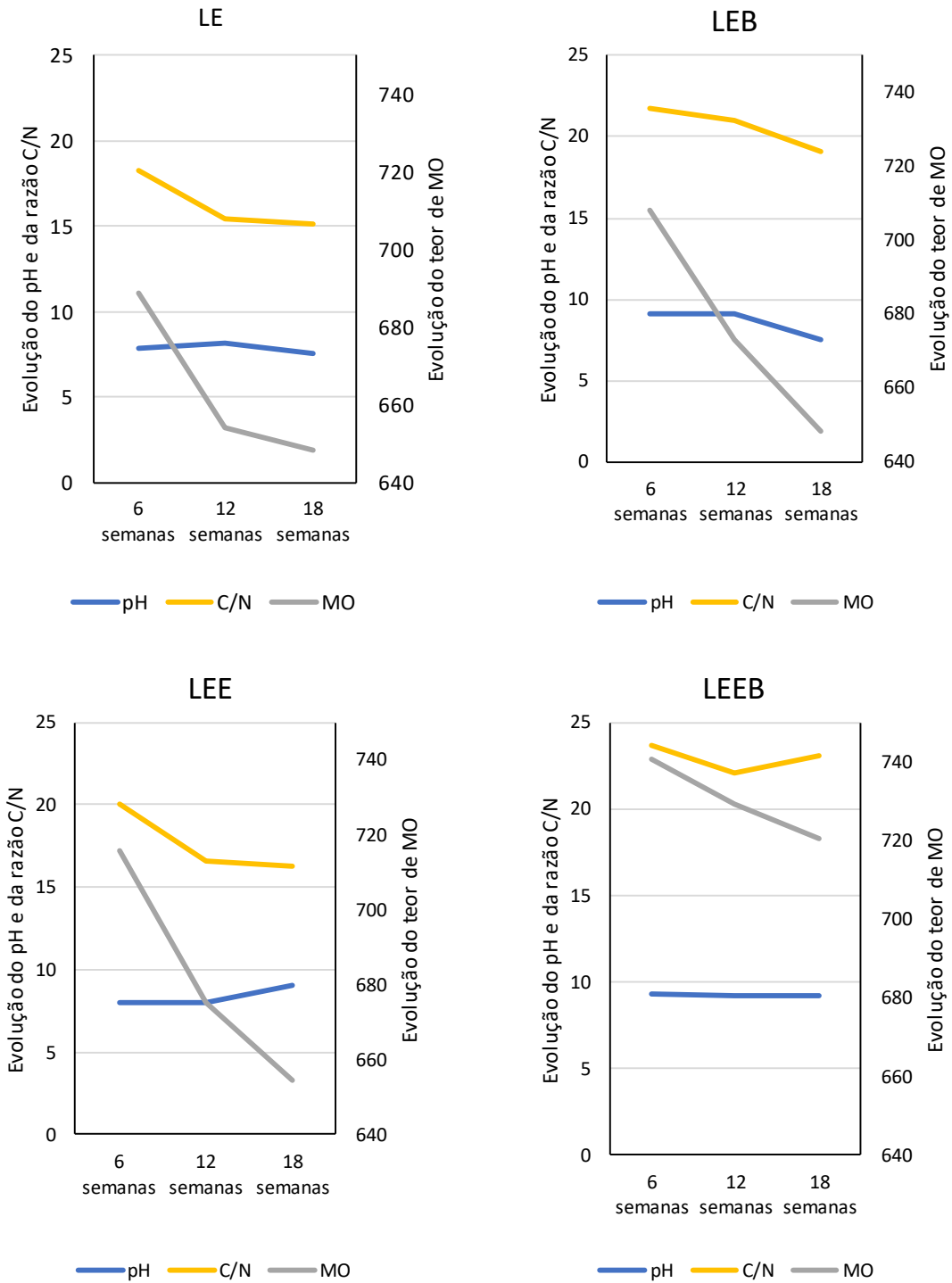


Figura 20 - Evolução do pH, razão C/N e teor de MO (g kg^{-1}) para os quatro compostados. Os títulos da figura indicam as siglas das pilhas de compostagem que se encontram referidas no Quadro 7.

3.4.2. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas

O peso fresco (PF) das folhas da alface, para o conjunto das três experiências, aumentou significativamente ($p < 0,05$) para todos os tratamentos, em comparação com o tratamento controle. A aplicação de 40 t ha^{-1} de cada compostado resultou sempre em produções significativamente superiores ($p < 0,05$), quando comparadas com as aplicações de 0 e 20 t ha^{-1} . O tratamento LE40 resultou na maior produtividade de alface sendo significativamente superior a todos os outros tratamentos. Não se observaram diferenças significativas no PF das folhas com a 20 t ha^{-1} de qualquer um dos compostados (Figura 21)

O peso seco (PS) das folhas da alface, aumentou significativamente ($p < 0,05$) para todos os tratamentos em comparação com o tratamento controle. O aumento da dose de aplicação de 20 t ha^{-1} para 40 t ha^{-1} do mesmo compostado não revelou diferenças significativas de peso seco das alfaces (Figura 21).

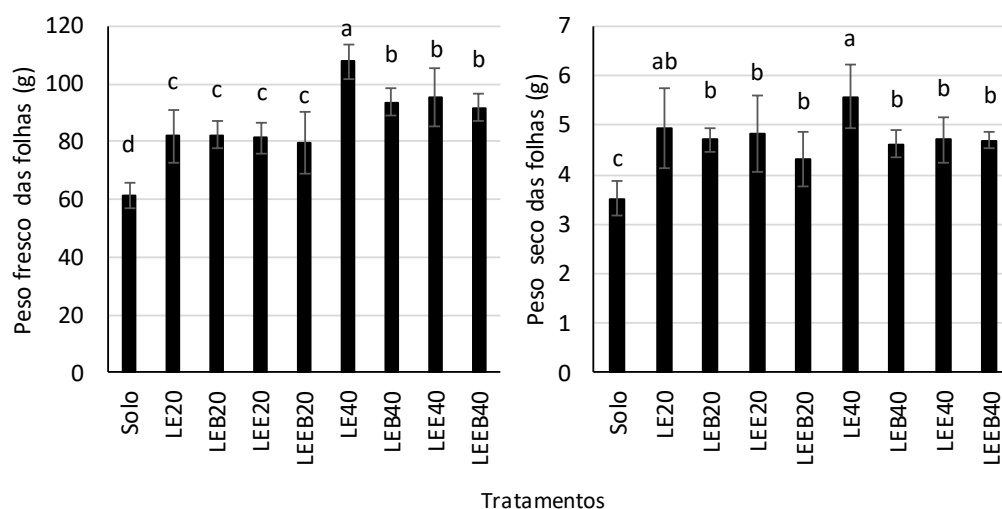


Figura 21 - Peso fresco e peso seco nas folhas de alface (conjunto dos ensaios). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

O teor de matéria seca (MS%) variou entre 4,9 e 6%. Relativamente ao teor de matéria seca (MS) das folhas da alface, verificou-se uma diminuição de forma significativa ($p < 0,05$) para LEB40 e LEE40, quando comparada com os tratamentos onde se aplicaram 0 e 20 t ha^{-1} . O teor de MS obtido em LE20 foi significativamente superior a todos os tratamentos onde se aplicaram compostados na dose de 40 t ha^{-1} (Figura 22)

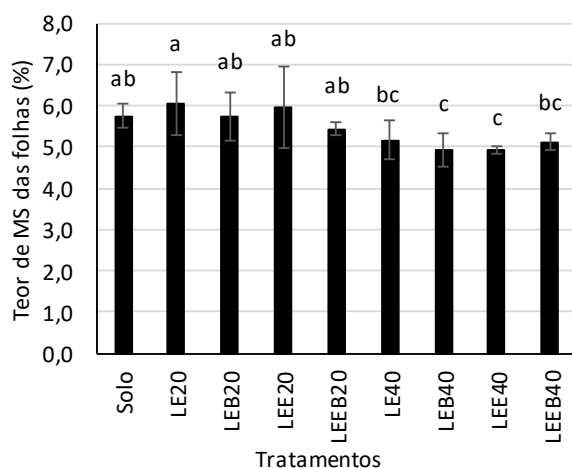


Figura 22 - Teor (%) de matéria seca (MS) das folhas de alface (conjunto dos ensaios). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

3.4.3. Teores e acumulação de nutrientes nas folhas de alface

Os teores (g kg^{-1}) de nutrientes nas folhas da alface estão representados no Quadro 20, para cada um dos tratamentos e a acumulação (mg planta^{-1}) de nutrientes está representada na Figura 23.

O teor de N apenas aumentou significativamente no tratamento LE40, e diminuiu significativamente no tratamento LEEB40, em comparação com o tratamento controlo sem qualquer compostado. O maior teor de N foi observado quando se aplicou 40 t ha^{-1} de LE, sendo significativamente superior aos tratamentos LEEB40, LEE40, LEEB20, LEB40 e controlo (Quadro 20).

Relativamente ao teor de P a aplicação de qualquer um dos compostados exceto LE20 e LEB20, resultou num teor de P significativamente superior em comparação com o teor de P das alfices produzidas no tratamento sem compostado. Verificou-se que o teor de P foi sempre significativamente superior quando se aplicaram 40 t ha^{-1} de compostado em comparação com a aplicação de 0 ou 20 t ha^{-1} . (Quadro 20).

O teor de K aumentou significativamente ($p < 0,05$) em todos os tratamentos, quando comparado com o tratamento controlo. Nos compostados LEB e LE o aumento de 20 para 40 t ha^{-1} de compostado resultou em diferenças significativas, sendo a maior dose de compostado responsável pelo maior teor de K (Quadro 20).

Relativamente aos teores de Ca e Mg verificou-se que o tratamento controlo sem compostado resultou em plantas mais ricas nestes nutrientes (Quadro 20) enquanto o teor de Fe não variou significativamente entre tratamentos (Quadro 20).

Quadro 20 - Teores de nutrientes (g kg^{-1}) nas folhas da alface (média dos ensaios).

Tratamento	N (g kg^{-1})	P (g kg^{-1})	K (g kg^{-1})	Ca (g kg^{-1})	Mg (g kg^{-1})	Fe (g kg^{-1})
LE20	24,8	2,8	36,3	5,8	2,2	0,5
LEB20	25,1	2,9	33,4	6,8	2,2	0,3
LEE20	25,5	3,3	40,9	6,8	2,4	0,5
LEEB20	22,9	3,6	40,6	6,9	2,2	0,3
LE40	26,9	4,4	44,2	5,7	2,3	0,5
LEB40	23,6	4,5	41,1	6,7	2,3	0,4
LEE40	21,8	4,7	41,7	6,1	2,3	0,5
LEEB40	19,8	4,8	43,9	6,4	2,2	0,4
Solo	23,6	2,7	25,5	8,2	2,7	0,4
LSD	2,6	0,48	6,9	0,8	0,2	0,2

LSD significa a menor diferença significativa entre médias ($p < 0,05$) para o mesmo nutriente. As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

A absorção e consequente acumulação (mg planta^{-1}) de N nas alfaces não apresentou diferenças significativas entre tratamentos. (Figura 23). Relativamente à acumulação (mg planta^{-1}) de P, esta aumentou de forma significativa ($p < 0,05$) para os tratamentos com aplicação de 40 t ha^{-1} , bem como para o tratamento LEEB20, quando comparado com o tratamento controlo. A maior acumulação de P foi observada nas folhas de alface com o tratamento de LEE40 sendo esta significativamente superior ($p < 0,05$) a todos os tratamentos de 0 e 20 t ha^{-1} , e com as plantas do tratamento LE40 (Figura 23).

A acumulação de K aumentou ($p < 0,05$) em todos os tratamentos com compostado, exceto no LEB20. O aumento de 20 para 40 t ha^{-1} de compostado não revelou diferenças significativas na acumulação de K pela planta, exceto no compostado LEB onde o aumento de 20 para 40 t ha^{-1} de compostado se traduziu num aumento de acumulação de K nas folhas de alface (Figura 23).

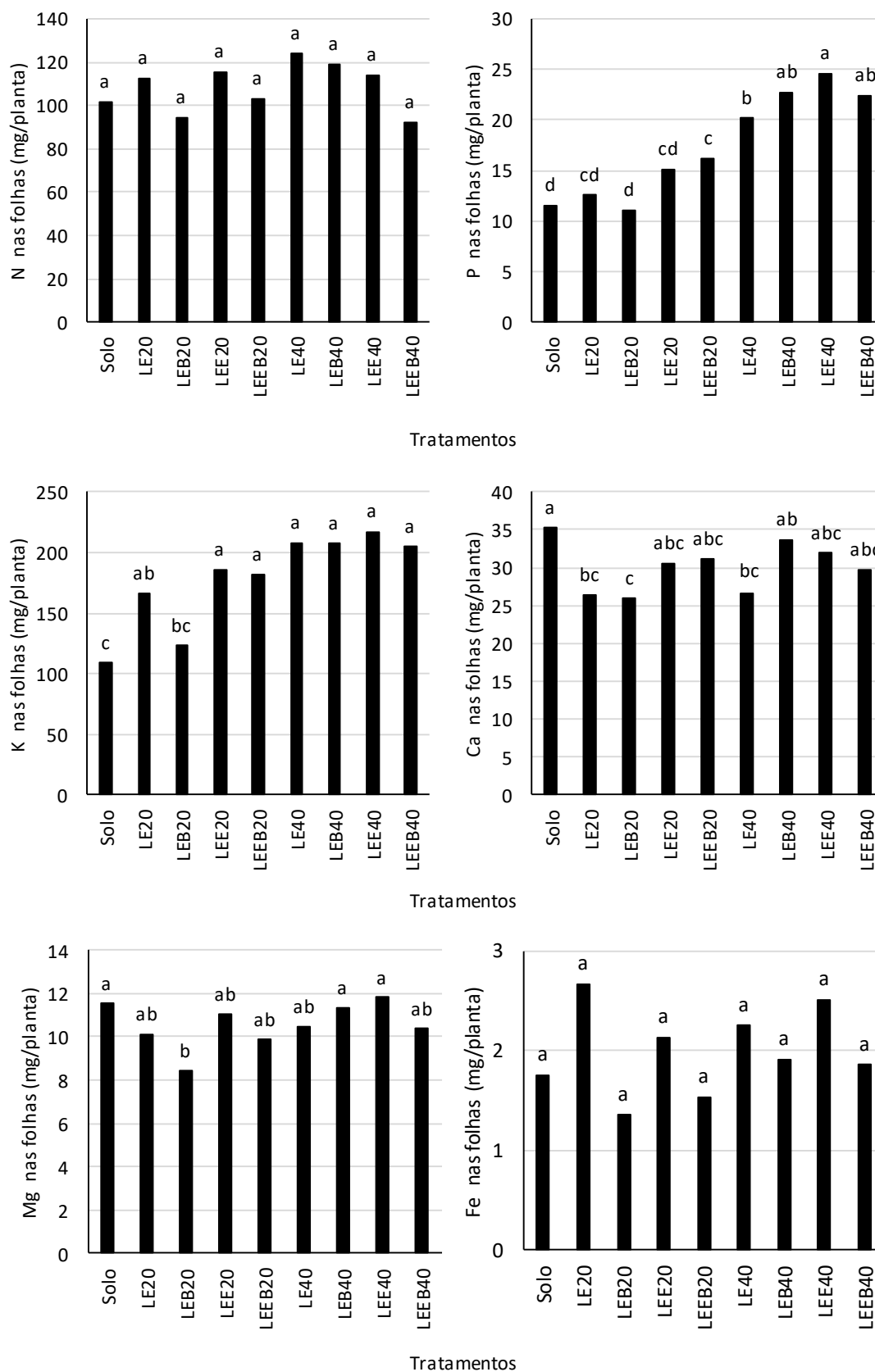


Figura 23 - Acumulações de nutrientes (mg planta⁻¹) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas de alface (conjunto dos ensaios). Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes (p < 0,05). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

A acumulação de Ca diminui de forma significativa ($p < 0,05$) nos tratamentos LE20, LEB20 e LE40, em comparação com o tratamento controlo sem compostado (Figura 23). A acumulação de Mg apresentou uma diminuição significativa ($p < 0,05$) nas folhas do tratamento LEB20 em relação ao tratamento controlo, esta foi significativamente superior em LEB40 e LE40 em comparação com LE20. (Figura 23). A acumulação de Fe não variou significativamente entre os tratamentos (Figura 23).

3.4.4. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das raízes

O PF das raízes da alface aumentou significativamente em todos os tratamentos em relação ao controlo sem compostado. Analisando apenas os tratamentos com compostados apenas se verificam diferenças significativas entre a aplicação de 40 t ha^{-1} de LE e LEEB quando comparado com 20 t ha^{-1} de desses mesmos compostados, onde a maior dose registou pesos significativamente superiores (Figura 24).

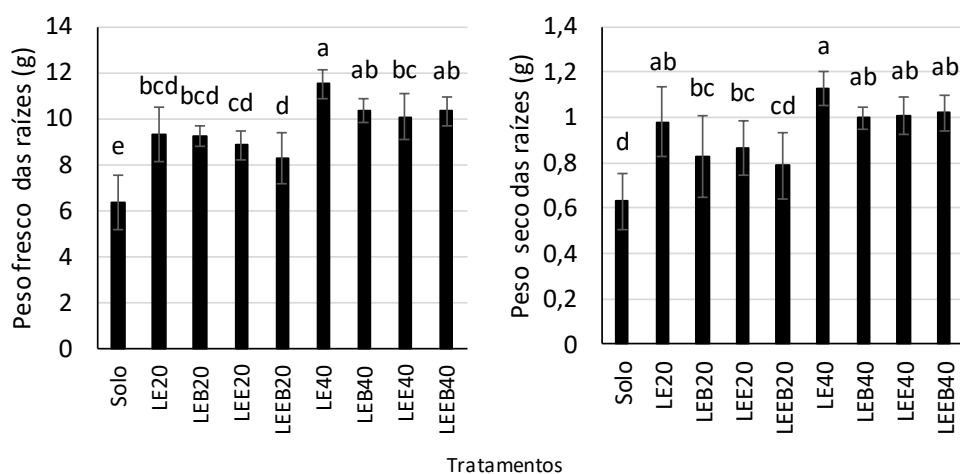


Figura 24 - Peso fresco e peso seco das raízes da alface (conjunto dos ensaios). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

O PS das raízes da alface aumentou significativamente para todos os tratamentos com a exceção de LEEB20 em relação ao tratamento controlo (Figura 24). O teor de matéria seca (MS) das raízes da alface variou entre 9 e 10,5%, sendo que apenas os tratamentos LE20 e LEB20 possuíam um teor de MS nas raízes significativamente diferentes, sendo as alfaces do tratamento LE20 as que apresentaram o teor de MS mais elevado (Figura 25).

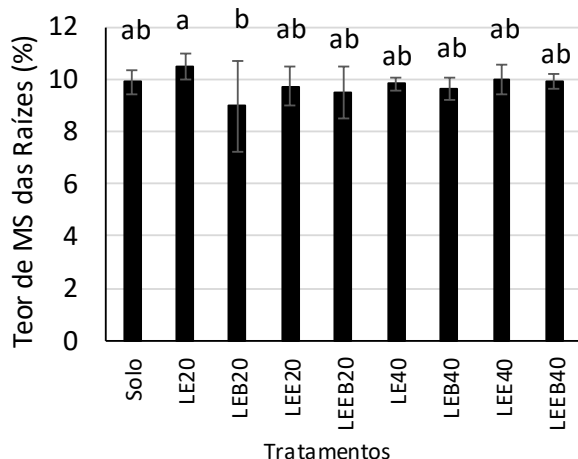


Figura 25 - Teor (%) de matéria seca (MS) das raízes de alface (conjunto dos ensaios). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas dos tratamentos encontram-se referidas no Quadro 8.

3.4.5. Influência dos compostados no peso fresco da alface

O peso fresco (PF) das folhas da alface foi significativamente superior para o composto LE em comparação com os restantes compostados, quando se considerou a média das duas doses de aplicação dos compostados. Globalmente, a utilização de compostados com biochar resultou em pesos frescos das folhas inferiores em comparação com os compostados sem biochar. O PF da alface aumentou significativamente com a dose 40 t ha⁻¹ em comparação com a dose 20 t ha⁻¹ quando se considerou a média de todos os compostados (Figura 26).

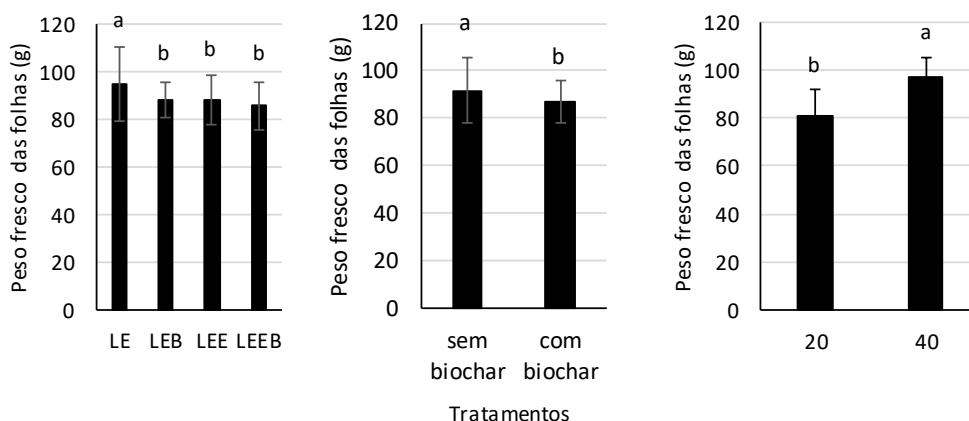


Figura 26 - Comparação do peso fresco das folhas entre os 4 compostados, com e sem biochar e aplicação de 20 e 40 t ha⁻¹ (conjunto dos ensaios). Traços por cima das barras representam o valor do desvio padrão da média. Letras diferentes por cima das barras representam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$). As siglas das pilhas encontram-se referidas no Quadro 7.

4. DISCUSSÃO

4.1. Características dos compostados e do solo

Os compostados avaliados neste estudo possuíam valores de pH alcalinos compreendidos entre 7,5 e 9,3 sem que se verificassem grandes diferenças quer entre compostados quer entre diferentes tempos de compostagem. Este facto poderá explicar-se porque entre as 6 e as 18 semanas de compostagem já os ácidos que teriam sido produzidos nos primeiros dias de compostagem se teriam degradado e a produção de amoníaco durante a mineralização do azoto orgânico poderá ter contribuído para elevar os valores de pH dos compostados. Contudo, o solo utilizado nesta experiência possuía uma reação ácida, com valores de pH compreendidos entre 4,5 e 5,1. A alcalinidade dos compostados poderá ter minimizado o efeito da acidez do solo e, assim, colaborado para aumentar a solubilidade dos macronutrientes nos tratamentos com composto, o que, por sua vez, terá contribuído para explicar que globalmente a produtividade da alface aumentasse com a aplicação dos compostados ao solo.

Os valores de pH dos compostados eram elevados, contudo, nos compostados de lamas e engaços os valores estão dentro daqueles que foram registados por Bertran et al. (2004) e Fernández et al. (2010). Para os compostados com biochar nota-se que o pH é ligeiramente superior em comparação com os compostados sem biochar, o que era previsível porque quando comparamos o valor de pH referido por Mimmo et al. (2014) para o biochar verificamos que este é superior ao pH das lamas e engaços reportado por Bertran et al. (2004) e Fernández et al. (2010). Nota-se que os valores de pH destes compostados foram superiores aos referidos por Brito (2006) como valores de referência para os compostados maturados (entre pH 7 e pH 8). Por outro lado, segundo aquele autor, valores mais baixos poderiam ser indicativos de falta de maturação devido à curta duração do processo ou à ocorrência de processos anaeróbios no interior da pilha de compostagem.

Os compostados utilizados neste estudo possuíam valores de CE entre 0,2 e 0,5 dS m⁻¹. Estes valores são muito inferiores ao valor de 3 dS m⁻¹ que tem sido sugerido como valor limite para utilização dos compostados como corretivos orgânicos do solo (Soumaré et al., 2002) e indica que estes compostados, no que respeita à salinidade, não foram prejudiciais para a cultura da alface segundo Quelhas dos Santos (1996).

Relativamente ao teor de matéria orgânica dos compostados verificou-se que os valores foram inferiores aos referidos por Paradelo et al. (2013) para as lamas e engaços. Contudo, são similares ao valor reportado por Ruggieri et al. (2009). O teor de matéria

orgânica é maior nos compostados com biochar, tal facto pode ser justificado pois o teor de MO do biochar segundo Wei et al. (2014) e Yargicoglu et al. (2015) apresenta valores mais elevados do que os apresentados por Paradelo et al. (2013) para as lamas e engaços. Verificamos ainda que o teor de MO dos compostados diminuiu ao longo do processo de compostagem sendo que esta diminuição, que resulta da mineralização da MO que se verifica naturalmente durante o processo de compostagem dos materiais orgânicos, também foi reportada por Ruggieri et al. (2009) e Paradelo et al. (2013).

A razão C/N diminuiu ao longo do tempo de compostagem sendo os valores finais (às 18 semanas) em LE, LEB e LEE variáveis entre $C/N = 10$ e $C/N = 20$ e semelhantes aos reportados por Sempiterno (2016). A diminuição da razão C/N durante a compostagem decorre das perdas relativas de carbono mineralizado (na forma de CO_2) serem superiores às perdas de azoto. Já o compostado LEEB apresentou um valor superior e isso poderá dever-se aos materiais originais pois o engaço possui uma razão C/N mais elevado do que as lamas (Paradelo et al., 2013), enquanto que o biochar tem uma razão C/N muitíssimo mais elevada (Mimmo et al., 2014; Yargicoglu et al., 2015).

A quantidade de azoto foi superior nos compostados sem biochar, o que se explica pelo facto das lamas e mesmo os engaços (Bertran et al., 2004 e Ferrari et al., 2019) possuírem teores de N muito superiores aos teores de N do biochar (Yargicoglu et al., 2015).

A evolução da temperatura das pilhas de compostagem de onde se retiraram os compostados para utilizar neste estudo encontra-se na Figura 27. Esta evolução está de acordo com a referida por Shukla. (2016). Nota-se que no primeiro ensaio (compostados com 6 semanas) a pilha de compostagem ainda possuía uma temperatura elevada que segundo Brito (2017) seria indicador de atividade microbiana na pilha de compostagem o que nos indica que o compostado ainda não estava maturado, podendo apresentar alguma fitotoxicidade. Relativamente outros dois ensaios (compostados com 12 e 18 semanas) verificamos que a temperatura já é mais baixa e próxima da temperatura ambiente, pelo que os compostados estariam mais estabilizados.

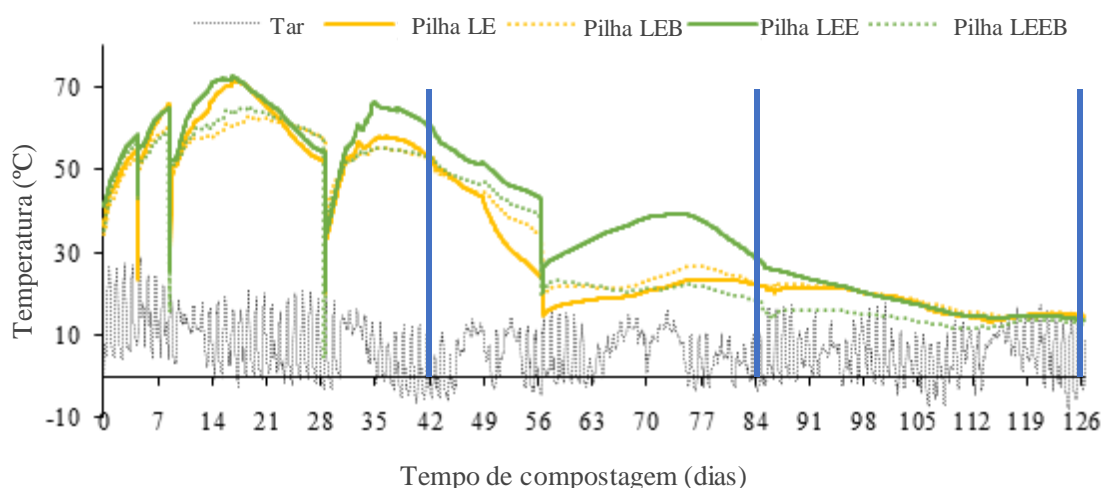


Figura 27 - Evolução da temperatura da compostagem dos compostados. As barras verticais representam os momentos de utilização dos compostados. As siglas das pilhas encontram-se referidas no Quadro 7. Tar= temperatura do ar exterior. Fonte: Pinto e Brito. (2019). Comunicação pessoal.

4.2. Efeito das doses crescentes dos compostados no peso fresco da alface

O peso fresco da alface não variou muito entre as três experiências registando-se produções semelhantes às de Brito et al. (2014) e de Solaiman et al. (2019) em experiências de vasos. As produções registadas nestes ensaios são inferiores às referidas por MADRP/INIAP (2005), o que se pode explicar pela dificuldade em se conseguir atingir a mesma produtividade em vasos, do que é possível no campo.

O peso fresco da alface, nos três ensaios, aumentou com a aplicação de quantidades crescentes dos compostados, quando se considerou a média do conjunto dos quatro compostados, com 6, 12 e 18 semanas de compostagem (Figura 7, 13 e 19, respetivamente). Tal facto, está de acordo com os resultados obtidos por Radics et al. (2008) que reportou o aumento da produção de alface com a utilização de doses crescentes de composto à base de estrume de ovelha e por Brito et al. (2014) que também registou aumentos significativos de produção desta cultura com doses crescentes de compostados de resíduos sólidos urbanos separados na origem. Contudo, com os compostados com 6 semanas de compostagem não se verificou um aumento significativo de produção com o aumento da dose de aplicação quando os compostados foram considerados individualmente (Figura 2), exceto para o composto com maior proporção de lamas e sem biochar (LE). Isto poderá ser explicado pelo facto de os compostados menos

maturados poderem apresentar alguma fitotoxicidade que contrariasse o efeito benéfico dos mesmos em termos de disponibilidade de nutrientes, sendo o aumento de produção apenas significativo com a dose mais elevada do compostado que possuía uma maior proporção de lamas (LE) porque estas são mais ricas em azoto do que os engaços (Paradelo et al., 2013) e muitíssimo mais ricas do que o biochar (Yargicoglu et al., 2015). Nesse sentido o tratamento LE40 poderá ter sido aquele que disponibilizou maiores quantidades de N mineral, e conseqüentemente resultou no tratamento que permitiu a maior produção de alface.

Já na aplicação de compostados com 12 semanas de compostagem as doses crescentes de aplicação conduziram a aumentos significativos de peso fresco nas plantas produzidas com os compostados LEB e LEEB (Figura 8) quando a aplicação de compostado aumentou de 0 para 20 t ha⁻¹ e de 20 para 40 t ha⁻¹. Contudo, para os outros compostados LE e LEE não se verificaram esses aumentos significativos entre a aplicação das doses entre 20 e 40 t ha⁻¹ o que nos leva a sugerir que a dose mais baixa poderia ter sido suficiente para o crescimento das plantas ou que o aumento da dose de compostado não foi suficiente para se revelar num aumento de peso fresco significativo.

Em todos os tratamentos onde existiu aplicação de compostado com 12 semanas de compostagem o peso fresco da alface foi significativamente superior ao tratamento controlo, este facto foi semelhante quando se aplicaram compostados com 18 semanas de compostagem (Figura 14). Neste último ensaio, quando a aplicação aumentou de 0 para 20 t ha⁻¹ e de 0 para 40 t ha⁻¹ de compostado, a produção de alface aumentou significativamente, com a exceção do LE pois o aumento de 0 para 20 t ha⁻¹ não revelou diferenças significativas (Figura 14). Constatamos assim que, salvo raras exceções, existem aumentos expressivos de produção quando comparamos a aplicação de compostado com o controlo no segundo e terceiro ensaios (compostados de 12 e 18 semanas) aumentos esses que estão em concordância com o descrito por Brito et al. (2014) numa experiência onde aplicou um compostado de resíduos sólidos urbanos (RSU) separados na origem com base em resíduos florestais e de jardins, materiais lenhosos, resíduos alimentares impróprios para consumo em três doses diferentes (0, 15 e 30 t ha⁻¹), bem como com Radics et al. (2008) que utilizou um compostado a partir do estrume de ovelhas e fósforo na produção de biomassa de alface, pois ambos verificaram que quanto maior era a dose de aplicação de compostado maior o PF das folhas de alface.

Considerando ainda o terceiro ensaio, observamos que a diferença de aplicação de 20 para 40 t ha⁻¹ resultou em pesos frescos significativamente superiores apenas no

compostado LE (Figura 14), no entanto em LEB, LEE e LEEB esses aumentos não foram significativos entre a aplicação das doses 20 e 40 t ha⁻¹ o que nos leva a concluir que a dose mais elevada de aplicação não foi suficiente para um incremento no crescimento da planta naquelas condições experimentais, tal facto também foi relatado por Brito et al. (2012a) que verificou que doses crescentes não conduzem sempre a aumentos de peso fresco.. Note-se, no entanto, que alguns aumentos de produção que não foram significativos nestes ensaios, poderiam ter sido significativos se o erro padrão das experiências tivesse diminuído, o que seria possível aumentando o número de repetições e/ou conseguindo menor variação nas condições experimentais entre plantas, por exemplo, conseguindo plantas ainda mais uniformes no momento da transplantação ou um teor de humidade no solo mais uniforme entre os diferentes vasos.

4.3. Efeito de doses de corretivos orgânicos na acumulação de nutrientes

Relativamente à percentagem de N no peso seco das plantas, verificamos que em todos os ensaios esta foi semelhante à obtida no crescimento de alface em campo realizada por Delibacak e Ongun. (2016) onde utilizaram compostados de resíduos de tabaco com dejetos de galinhas. Quando utilizados compostados com 6 semanas de compostagem, as maiores doses de aplicação dos compostados resultaram em acumulações de N significativamente inferiores para os tratamentos LEE40 e LEEB40 (Figura 4), quando comparados com as alfices do tratamento sem compostado, isto poderá ser explicado pelo facto de os compostados menos maturados poderem apresentar alguma fitotoxicidade que contrariasse o efeito benéfico dos mesmos em termos de disponibilidade de nutrientes, ou porque se verificou alguma imobilização do N do solo, devido ao elevado teor de engaços nos compostados.

Quando utilizados compostados com 12 e 18 semanas de compostagem verificamos que o aumento de 20 para 40 t ha⁻¹ de aplicação de compostados não resultou em acumulações superiores de N (Figura 10 e Figura 16, respetivamente) exceto na aplicação LE com 18 semanas de compostagem onde a maior dose de compostado revelou maior acumulação de N. O facto do aumento de aplicação de compostado não resultar num aumento de acumulação de N pelas plantas também foi relatado por Brito et al. (2012b) quando utilizou compostados de estrume de cavalo e calcário nas mesmas doses de aplicação. O aumento significativo na acumulação de N poderá ser explicado pois a dose mais elevada de LE (compostado com maior proporção de lamas e sem biochar) é mais

rica em azoto pois, como já referido, as lamas possuem um teor de N mais elevado do que o teor de N dos engaços ou do biochar.

Relativamente à acumulação de P pelas alfaces, quando aplicados os compostados com 6 semanas de compostagem, verifica-se que o aumento de 0 para 40 t ha⁻¹ e de 20 para 40 t ha⁻¹ de LE e LEEB resultou numa acumulação de P significativamente superior (Figura 4). Na aplicação de compostado com 12 semanas de compostagem as doses crescentes de aplicação de compostados resultaram sempre numa acumulação significativamente mais elevada de P pela alface (Figura 10). O efeito de doses crescentes de aplicação dos compostados com 18 semanas de compostagem resultou numa acumulação superior de P entre as doses de 0 e 20 t ha⁻¹ nos compostados LEE e LEEB e entre 20 e 40 t ha⁻¹ nos compostados LE e LEB (Figura 16). Assim, constata-se que existe uma relação positiva entre a dose de aplicação de compostado e a acumulação de P nas folhas de alface, tal como registado por Villas Bôas et al. (2004) e Brito et al. (2014). No segundo e terceiro ensaios verificou-se que para a mesma dose de aplicação em qualquer um dos compostados a acumulação de P nas folhas de alface foi semelhante, o que indica que a capacidade de fornecimento de P pelos diferentes compostados foi semelhante.

No primeiro ensaio (6 semanas de compostagem) a absorção de K pelas folhas da alface resultou em diferenças significativas com o aumento da dose de aplicação de 0 e 20 para 40 t ha⁻¹ do compostado LE. Verificou-se, também, que o aumento de aplicação de 0 para 20 ou 40 t ha⁻¹ do compostado LEEB resultou em aumentos de acumulação de K pelas folhas de alface (Figura 4). O aumento de acumulação de K em função do aumento da dose de aplicação de compostado teoricamente seria esperado pois segundo Bertran et al. (2004), os engaços possuem elevado teor K e com um incremento na aplicação de compostado seria de esperar um maior aumento de acumulação de K nas folhas de alface. Contudo, considerando apenas as alfaces produzidas com os compostados LEB, LEE e LEEB podemos verificar que o efeito dose (20 e 40 t ha⁻¹) não se fez sentir significativamente.

Na segunda experiência (com os compostados com 12 semanas de compostagem) a absorção de K pelas folhas de alface resultou num aumento significativo em todos os tratamentos onde se aplicaram compostados face ao controlo (Figura 10). Notou-se ainda que com o LEEB o aumento de aplicação de 0 para 20 t ha⁻¹, e de 20 para 40 t ha⁻¹ resultou em absorções de K significativamente superiores (Figura 10). No último ensaio a absorção de K pelas folhas de alface resultou num aumento significativo nos tratamentos LEE20, LEEB20, LE40, LEE40, quando comparados com o controlo (Figura 16).

Os teores de K obtidos neste ensaio foram ligeiramente superiores aos relatados por Brito et al. (2014) para compostados de RSU e Brito et al. (2017) para compostados de biomassa de acácia onde não se verificaram diferenças significativas entre as doses de aplicação de compostado, quando consideraram só a aplicação de compostado. Contudo, os materiais originais são muito diferentes e os engaços possuem elevado teor de K segundo Bertran et al. (2004) que poderia ter sido responsável pelos maiores teores de K nas folhas de alface.

De forma geral no segundo e no terceiro ensaio as plantas produzidas sem utilização de compostado possuem menor acumulação de macronutrientes o que seria previsível, pois o solo utilizado não possuía elevado teor de nutrientes.

5. CONCLUSÕES

Com este estudo conclui-se que com a aplicação dos compostados (resultantes da compostagem de engaços e de lamas) mais maturados, com 12 e 18 semanas, a alface aumentou sempre de peso em relação à não aplicação de compostados.

Verificou-se que para a mesma dose de aplicação de compostado não existiram diferenças significativas entre os compostados com 12 e 18 semanas. O mesmo não se verificou com os compostados com apenas 6 semanas onde a aplicação de 40 t ha⁻¹ de LE resultou num peso fresco da alface significativamente superior aos outros compostados aplicados na mesma dose.

Nos compostados com 12 a 18 semanas de compostagem os aumentos crescentes das doses de compostado (de 0 para 20 t ha⁻¹ e de 20 para 40 t ha⁻¹) contribuíram para aumentos crescentes de produção.

O efeito dos corretivos com maior e menor teor de engaço na proporção com lamas dos efluentes da adega não se fez sentir em diferenças consistentes nos compostados com 6, 12 e 18 semanas de compostagem. Contudo, para a média dos três ensaios a utilização do compostados mais ricos em lamas e sem biochar (LE) resultou em pesos frescos das folhas superiores aos restantes compostados.

O efeito dos corretivos com biochar não se fez sentir em diferenças significativas no peso fresco das alfices, em comparação com os corretivos sem biochar, em cada ensaio, mas para a média dos três verificou-se que o PF das folhas de alface cultivada sem biochar foi superior ao PF das folhas cultivadas com biochar. Em alguns tratamentos com biochar a quantidade de macronutrientes absorvida pelas folhas de alface foi significativamente inferior quando comparada com os tratamentos equivalentes sem biochar.

Recomenda-se, para aumentar a produtividade de culturas hortícolas como a alface, que a compostagem destes resíduos decorra por um período mínimo de 12 semanas, para garantir que os compostados fiquem relativamente bem estabilizados, sem fitotoxicidade ou capacidade para imobilizar azoto do solo, e que se utilizem mais lamas em peso do que engaços, para aumentar a disponibilidade de nutrientes.

Novos estudos de compostagem poderão esclarecer as vantagens, e desvantagens, de utilizar biochar na compostagem com resíduos das adegas, porque no presente trabalho não beneficiou a qualidade dos compostados para utilização como corretivos orgânicos do solo, na cultura da alface.

6. BIBLIOGRAFIA

- Agegnehu, G., Srivastava, A.K., Bird, M.I. 2017. The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Appl. Soil Ecol.* 119, 156–170. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.008>
- Almeida, D. 2006. *Manual de culturas hortícolas*. Volume I, Editorial Presença, Lisboa, 346 pp.
- Barker, A.V., 1997. *Composition and Uses of Compost*. ACS Symposium Series. J. Am. Chem. Soc., 668,140–162. <http://10.1021/bk-1997-0668.ch010>
- Bertran, E., Sort, X., Soliva, M., Trillas, I. 2004. Composting winery waste: Sludges and grape stalks. *Bioresour. Technol.* 95, 203–208. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.07.012>
- Brinton, W., Evans, E. 2002. Plant Performance in Relation to Oxygen Depletion, CO₂-Rate and Volatile Fatty Acids in Container Media Composts of Varying Maturity. In H. Insam, N. Riddels, and S. Klammer (eds). *Microbiology of Composting*. Springer-Verlag, Berlin. p. 335–345.
- Brito, L.M. 2006. *Compostagem para a Agricultura Biológica III*. Man. Agric. Biológica - Terras Bouro 182.
- Brito, L.M. 2017. *Compostagem, Fertilização do Solo e Substratos*. Publinindustria, 157pp.
- Brito, L.M., Monteiro, J.M., Mourão, I., Coutinho, J. 2014. Organic Lettuce Growth And Nutrient Uptake Response To Lime, Compost And Rock Phosphate. *J. Plant Nutr.* 37, 1002–1011. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.881858>
- Brito, L.M., Moura, I., Rodrigues, R., Coutinho, J. 2017. Lettuce and cabbage growth and nutrient uptake response to invasive Acacia waste composts. *Acta Hortic.* 1168, 39–46. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1168.6>
- Brito, L.M., Pinto, R., Mourão, I., Coutinho, J. 2012a. Organic lettuce, rye/vetch, and Swiss chard growth and nutrient uptake response to lime and horse manure compost. *Organic Agriculture*, 2: 163-171. <https://doi.org/10.1007/s13165-012-0032-9>
- Brito, L.M., Pinto, R., Mourão, I., Rodrigues, R., Coutinho, J. 2012b. Organic Lettuce Growth and Nutrient accumulation in Response to Lime and Horse Manure Compost. *Acta Hort.* 933, 157–164.
- Bustamante, M.A., Moral, R., Paredes, C., Pérez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., Pérez-Murcia, M.D., 2008a. Agrochemical characterisation of the solid by-products

- and residues from the winery and distillery industry. *Waste Manag.* 28, 372–380.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.01.013>
- Bustamante, M.A., Moral, R., Paredes, C., Vargas-García, M.C., Suárez-Estrella, F., Moreno, J. 2008b. Evolution of the pathogen content during co-composting of winery and distillery wastes. *Bioresour. Technol.* 99, 7299–7306.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.051>
- CCQC, 2001. Compost Maturity index. Nevada City, California, California Compost Quality Council, 26 p.
- Cermeño, Z. S., 1988. *Prontuário do horticultor*. Litexa editora, Lisboa. 408pp.
- Chen, L, M De Haro Marti, A Moore, C Falen. 2009. *The Composting Process*. Dairy compost production and use in idaho. University of Idaho, 5pp.
- Chen, W., Liao, X., Wu, Y., Liang, J.B., Mi, J., Huang, J., Zhang, H., Wu, Y., Qiao, Z., Li, X., Wang, Y. 2017. Effects of different types of biochar on methane and ammonia mitigation during layer manure composting. *Waste Manag.* 61, 506–515.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.014>
- Chukwujindu M.A.I., Egun, A.C., Emuh, F.N., Isirimah, N.O. 2006. Compost Maturity Evaluation and its Significance to Agriculture. *Pakistan. J Biol Sci.* 9, 2933-2944.
<https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.2933.2944>
- Crohn, D. 2004. Nitrogen mineralization and its importance in organic. Department of Environmental Sciences, University of California. 8pp.
- Da Ros, C., Cavinato, C., Pavan, P., Bolzonella, D. 2017. Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of winery wastewater sludge and wine lees: An integrated approach for sustainable wine production. *J. Environ. Manage.* 203, 745–752.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.029>
- De Tender, C.A., Debode, J., Vandecasteele, B., D’Hose, T., Cremelie, P., Haegeman, A., Ruttink, T., Dawyndt, P., Maes, M. 2016. Biological, physicochemical and plant health responses in lettuce and strawberry in soil or peat amended with biochar. *Appl. Soil Ecol.* 107, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.05.001>
- Delibacak, S., Ongun, A.R. 2016. Influence of composted tobacco waste and farmyard manure applications on the yield and nutrient composition of lettuce 5, 132–138.
<http://dx.doi.org/10.18393/ejss.2016.2.132-138>
- Disqual. 2003. *Manual de boas práticas –Alface. Otimização da qualidade e redução de custos na cadeia de distribuição de produtos hortofrutícolas frescos*. 38pp.

- Fernandes, A., Costa, M., Vasconcelos, C., Pintado, M. 2005. A compostagem de bagaço de uva com vista à obtenção de correctivos orgânicos e suportes de cultura de qualidade. *Actas Portuguesas de Horticultura. V Congresso Ibérico de Ciências Hortícolas, IV Congresso Ibero-Americano de Ciências Hortícolas*, 3, 297-303
- Fernández, F.J., Sánchez-Arias, V., Rodríguez, L., Villaseñor, J. 2010. Feasibility of composting combinations of sewage sludge, olive mill waste and winery waste in a rotary drum reactor. *Waste Manag.* 30, 1948–1956. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.007>
- Ferrari, V., Taffarel, S.R., Espinosa-Fuentes, E., Oliveira, M.L.S., Saikia, B.K., Oliveira, L.F.S. 2019. Chemical evaluation of by-products of the grape industry as potential agricultural fertilizers. *J. Clean. Prod.* 208, 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.032>
- Gaind, S. 2016. Immature Compost: It's Impact on Plant and Soil Health. *BiotechArticles*. Site disponível em: *Biotechnology Articles*, Última atualização 2018, URL: <https://www.biotecharticles.com/Agriculture-Article/Immature-Compost-It-s-Impact-on-Plant-and-Soil-Health-3555.html>. Consultado em 25 de novembro de 2018.
- Greene, J. M. 2017. Lettuce. *Salem Press Encyclopedia*. Site disponível em: biblioteca de conhecimento Online, Última atualização 2018, URL: <http://widgets.ebscohost.com/prod/customerspecific/ns000290/authentication/index.php?url=https%3a%2f%2fsearch.ebscohost.com%2flogin.aspx%3fdirect%3dtrue%26AuthType%3dip%2ccookie%2cshib%2cuid%26db%3ders%26AN%3d87323395%26lang%3dpt-br%26site%3deds-live%26scope%3dsite>. Consultado em 07 de novembro de 2018
- Grigatti, M., Girolamo, G. Di, Chincarini, R., Ciavatta, C., Barbanti, L. 2011. Potential nitrogen mineralization , plant utilization efficiency and soil CO₂ emissions following the addition of anaerobic digested slurries. *Biomass and Bioenerg* 35, 4619–4629. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.09.007>
- Hagemann, N., Subdiaga, E., Orsetti, S., de la Rosa, J.M., Knicker, H., Schmidt, H.P., Kappler, A., Behrens, S. 2018. Effect of biochar amendment on compost organic matter composition following aerobic composting of manure. *Sci. Total Environ.* 613–614, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.161>
- Harmon A. 2015. Biochar. *Salem Press Encyclopedia of Science*. Site disponível em: biblioteca de conhecimento Online, Última atualização 2018, URL:

<http://widgets.ebscohost.com/prod/customerspecific/ns000290/authentication/index.php?url=https%3a%2f%2fsearch.ebscohost.com%2flogin.aspx%3fdirect%3dtrue%26AuthType%3dip%2ccookie%2cshib%2cuid%26db%3ders%26AN%3d87323315%26lang%3dpt-br%26site%3ded-live%26scope%3dsite>. Consultado em 13/11/2018.

- Jenkins, J. 2005. *The Humanure handbook a guide to composting human manure*. Chapter Three: Microhusbandry. 3rd edition, 44pp.
- Kopeć, M., Baran, A., Mierzwa, M. 2017. Effect of the Addition of Biochar and Coffee Grounds on the Biological Properties and Ecotoxicity of Composts 1389–1398. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9916-y>
- Kutu, F.R., Masowa, M.M. 2018. Nitrogen and potassium mineralization from winery solid waste composts in sandy and sandy loam soils. *Arch. Agron. Soil Sci.* 64, 1094–1105. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1414195>
- Liu, W., Huo, R., Xu, J., Liang, S., Li, J., Zhao, T., Wang, S. 2017. Effects of biochar on nitrogen transformation and heavy metals in sludge composting. *Bioresour. Technol.* 235, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.052>
- Lopes, A. Simões, A. 2006. *Produção Integrada em hortícolas: família das asteráceas – alface*. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas - Direcção-Geral de Protecção das Culturas. 129 pp
- Luís, L.J.C.T.A. 2016. *Caracterização Química de Corretivos Orgânicos e Lamas de Depuração*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade De Ciências E Tecnologia Universidade Nova De Lisboa. 90pp.
- MADRP (Ministro da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas), 1997. *Código de boas práticas agrícolas para a protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola*. Lisboa, 53pp.
- MADRP/INIAP, 2005. *Manual de fertilização das culturas*. Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e das Pescas / INIAP – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, 282 pp.
- Marçal, C.F.B. 2014. *Gestão integrada de resíduos do sector vinícola e análise do ciclo de vida do produto*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa. 93pp.
- Maroto, J. V. 2002. *Horticultura herbácea especial (5ª ed.)*. Seseña, Espanha: Artes Gráficas Cuesta, S.A. 704pp.

- Mimmo, T., Panzacchi, P., Baratieri, M., Davies, C.A., Tonon, G. 2014. Effect of pyrolysis temperature on miscanthus biochar physical, chemical and functional properties. *Biomass and Bioenerg.* 62, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.004>
- Misra, R. V., Roy, R.N., Hiraoka, H. 2003. On- farm composting methods. FAO (food and agriculture organization of the united nations), 48pp.
- Oldfield, T.L., Sikirica, N., Mondini, C., López, G., Kuikman, P.J., Holden, N.M. 2018. Biochar, compost and biochar-compost blend as options to recover nutrients and sequester carbon. *J. Environ. Manage.* 218, 465–476. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.061>
- Oliveira, M., Duarte, E. 2016. Integrated approach to winery waste: waste generation and data consolidation. *Front. Environ. Sci. Eng.* 10, 168–176. <https://doi.org/10.1007/s11783-014-0693-6>
- Ozores-Hampton, M. 2006. Soil and nutrient management: Compost and manure. *Grower's IPM Guide For Florida Tomato and Pepper Production.* 36-40.
- Palviainen, M., Frank, B., Viktor, J. B., Kajar K. 2018. Effects of Biochar on Carbon and Nitrogen Fluxes. *Boreal Forest Soil*, 425,71-85.
- Paradelo, R., Moldes, A.B., Barral, M.T. 2013. Evolution of organic matter during the mesophilic composting of lignocellulosic winery wastes. *J. Environ. Manage.* 116, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.001>
- Pinto, R., Gonçalves, F., Brito, L.M., Mourão, I., Moura, L., Soares, R., Soares, S., Torres, L., Coutinho, J. 2018. Compostagem de lamas e engaço provenientes da atividade vitivinícola na Região Demarcada do Douro. *Revista WETWINE* , 17-21
- Pirra, A.J.D. 2009. Distribuição de lamas e efluentes vinícolas no solo: uma alternativa eco-eficiente para o seu tratamento. *Rev. Ciências Agrárias* 32, 67–84.
- Power, J. F., Prasad, R., 1997. 8 Nitrogen. In *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture.* CRC Press, 115-169.
- Qadeer, S., Anjum, M., Khalid, A., Waqas, M., Batool, A., Mahmood, T. 2017. A Dialogue on Perspectives of Biochar Applications and Its Environmental Risks. *Water. Air. Soil Pollut.* 228-281. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3428-z>
- Quelhas dos Santos J., 1996. Fertilização. Fundamentos da utilização dos adubos correctivos. *Colecção Euroagro*, 2ª Ed. 442 pp.
- Radics, L., Pusztai, P., Biró, B., Biró, Z., Németh, T., Monori, I. 2008. Element composition and quality of lettuce (*Lactuca sativa* var. Biwéri), grown with

- sheepmanure composts. 16th IFOAM Organic World Congress, June 16-20, Modena, Italy, 4 pp.
- Radovich, T., Arancon, N. 2011. Tea Time in the Tropics A handbook for compost tea production and use. Western sare sustainable agriculture research and education program. University of Hawaii. 38 pp.
- Ripado, M.F.B., 1993. A alface variedades, cultura, produção. Publicações Europa-América, Portugal. 141pp.
- Ruggieri, L., Cadena, E., Martínez-Blanco, J., Gasol, C.M., Rieradevall, J., Gabarrell, X., Gea, T., Sort, X., Sánchez, A. 2009. Recovery of organic wastes in the Spanish wine industry. Technical, economic and environmental analyses of the composting process. *J. Clean. Prod.* 17, 830–838. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.12.005>
- Sánchez-García, M., Alburquerque, J.A., Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Cayuela, M.L. 2015. Biochar accelerates organic matter degradation and enhances N mineralisation during composting of poultry manure without a relevant impact on gas emissions. *Bioresour. Technol.* 192, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.003>
- Sempiterno, C. 2016. Dossier técnico- Compostagem. INIAV. *Vida Rural*, 30-32.
- Shukla, L. 2016. Rural Composting for Improvement of Soil Health and Sustainable Agriculture. *Agric. Res. Technol. Open Access*, 1,1-8. <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2016.01.555572>
- Solaiman, Z.M., Yang, H., Archdeacon, D., Tippett, O., Tibi, M. 2019. Humus-Rich Compost Increases Lettuce Growth , Nutrient Uptake , Mycorrhizal Colonisation , and Soil Fertility. *Pedosph. An Int. J.* 29, 170–179. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(19\)60794-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(19)60794-0)
- Soumaré, M., Demeyer, A., Tack, F.M.G., Verloo, M.G. 2002. Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts. *Bioresour. Technol.* 81, 97–101. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00125-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00125-0)
- Starkeyres. 2014. Lettuce Production Guideline. 5pp
- Van der Wurff, A.W.G., Fuchs, J.G., Raviv, M., Termorshuizen, A.J. 2016. Handbook for Composting and Compost Use in Organic Horticulture. Bio Greenhouse COST Action. 108pp.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, Y.K., Downie, A., Joseph, S., Cowie, A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic

performance and soil fertility, *Plant and Soil*, 327,235-246.
<https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>

- Villas Bôas, R.L.V., Passos, J.C., Fernandes, D.M., Büll, L.T., Cezar, V.R.S., Goto, R. 2004. . Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. *Hortic. bras.* 22, .28–34
- Wei, L., Shutao, W., Jin, Z., Tong, X. 2014. Biochar influences the microbial community structure during tomato stalk composting with chicken manure. *Bioresour. Technol.* 154, 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.022>
- Wu, S., He, H., Inthapanya, X., Yang, C., Lu, L., Zeng, G., Han, Z. 2017. Role of biochar on composting of organic wastes and remediation of contaminated soils—a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 16560–16577. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9168-1>
- Xiao, R., Awasthi, M.K., Li, R., Park, J., Pensky, S.M., Wang, Q., Wang, J.J., Zhang, Z. 2017. Recent developments in biochar utilization as an additive in organic solid waste composting: A review. *Bioresour. Technol.* 246, 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.090>
- Yargicoglu, E.N., Sadasivam, B.Y., Reddy, K.R., Spokas, K. 2015. Physical and chemical characterization of waste wood derived biochars. *Waste Manag.* 36, 256–268. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.029>